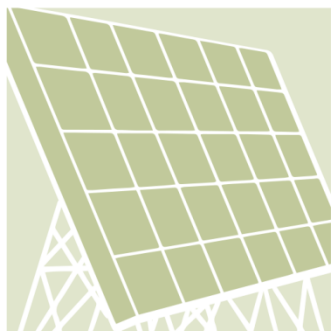


POWERING AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE
FOR DEVELOPMENT

TOOLBOX ON SOLAR POWERED IRRIGATION SYSTEMS (SPIS)



Módulo 9: Riega



La publicación de la Caja de herramientas de sistemas de riego solar ha sido posible gracias al apoyo brindado por la iniciativa mundial *Powering Agriculture: An Energy Grand Challenge for Development* (PAEGC) (Energización Rural: Un gran desafío energético para el desarrollo). En 2012, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), la Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Sida), el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania, la empresa de energía Duke Energy Corporation y la Corporación de Inversiones Privadas en el Extranjero (OPIC) juntaron recursos para crear la iniciativa PAEGC. El objetivo de PAEGC es fomentar nuevos enfoques sostenibles con el fin de acelerar el desarrollo y asegurar el establecimiento de energías limpias que incrementen la productividad y/o el valor de la agricultura en países en desarrollo y regiones emergentes sin acceso a fuentes de energía confiables, asequibles y limpias.

Publicado por

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, por encargo del BMZ como socio fundador de la iniciativa mundial *Powering Agriculture: An Energy Grand Challenge for Development* (PAEGC), y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

Responsable

Proyecto de la GIZ *Sustainable Energy for Food – Powering Agriculture* (Energía sostenible para la alimentación - Energía para la agricultura)

Contacto

Powering.Agriculture@giz.de

Descargar

https://energypedia.info/wiki/Toolbox_on_SPIS

Acerca de

Powering Agriculture: An Energy Grand Challenge for Development. <https://poweringag.org>

Versión

1.0 (abril de 2018)

Descargo de responsabilidad

Las denominaciones empleadas y la presentación del material en este producto informativo no implican juicio alguno de parte de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), o los socios fundadores de la iniciativa PAEGC, sobre la condición jurídica o el grado de desarrollo de ninguno de los países, territorios, ciudades o zonas citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la GIZ, la FAO o alguno de los socios fundadores de la iniciativa PAEGC los aprueben o recomienden, dándoles preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan. Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es) o autora(s), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o las políticas de la GIZ, la FAO o ninguno de los socios fundadores de la iniciativa PAEGC.

La GIZ, la FAO y los socios fundadores de la iniciativa PAEGC fomentan la utilización, la reproducción y la difusión del material presentado en este producto informativo. A menos que se indique lo contrario, el material puede ser copiado, descargado e impreso con fines de estudio privado, enseñanza e investigación científica, o para su utilización en productos o servicios no comerciales, siempre que se otorgue a la GIZ y la FAO el debido reconocimiento como fuentes y como titulares de los derechos de autor.

ABREVIATURAS

Ah	amperio hora
CA/CC	corriente alterna / corriente continua
CEM	condiciones estándar de medida
CT	coeficiente de temperatura
CWR	Crop Water Requirement (necesidades de agua de los cultivos, siglas en inglés)
ET	evapotranspiración
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, siglas en inglés)
FV	fotovoltaico
Gd	Daily Global Irradiation (radiación global diaria, siglas en inglés)
GIWR	Gross Irrigation Water Requirement (necesidades brutas de agua de riego, siglas en inglés)
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GPFI	Global Partnership for Financial Inclusion (Alianza Mundial para la Inclusión Financiera, siglas en inglés)
HERA	Programa de la GIZ “Abastecimiento básico de energía orientado a la pobreza”
H _T	Total Head (altura total, siglas en inglés)
IEC	International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional, siglas en inglés)
IFC	International Finance Corporation (Corporación Financiera Internacional, siglas en inglés)
IWR	Irrigation Water Requirement (necesidades de agua de riego, siglas en inglés)
m ²	metro cuadrado
MPPT	Maximum Power Point Tracking (seguimiento del punto de máxima potencia, siglas en inglés)
NIWR	Net Irrigation Water Requirement (necesidades netas de agua de riego, siglas en inglés)
ONG	organización no gubernamental
PVP	Photovoltaic Pump (bomba fotovoltaica, siglas en inglés)
SAT	Site Acceptance Test (prueba de aceptación in situ, siglas en inglés)
SPIS	Solar Powered Irrigation System (sistema de riego solar, siglas en inglés)
TIR	tasa interna de retorno (o de rentabilidad)
UV	ultravioleta
VAN	valor actual neto
Vd	Daily crop water requirement (necesidades diarias de agua de los cultivos, siglas en inglés)
W	vatio
Wp	vatios pico

DEFINICIONES

Acuífero	Formación(es) geológica(s) subterránea(s) que contiene(n) cantidades utilizables de aguas subterráneas que puede(n) abastecer pozos y manantiales para uso doméstico, industrial y de riego.
Altura de succión	Distancia vertical de la superficie del agua a la bomba. Esta distancia está limitada por la física a unos 6 metros, y debería minimizarse para obtener los mejores resultados. Esto se aplica solo a las bombas de superficie.
Bomba	<p>Convierte energía mecánica en energía hidráulica (presión y/o flujo).</p> <p>Bomba sumergible: una combinación de motor/bomba diseñada para ser instalada íntegramente por debajo de la superficie del agua.</p> <p>Bomba de superficie: bomba no sumergible que se instala a una altura no mayor de 6 metros por encima de la superficie del agua.</p>
Cabezal de riego	Unidad de control situado a la salida de la motobomba para regular la cantidad, la calidad y la presión del agua en un sistema de riego. Se suele acompañar y regular mediante diferentes tipos de válvulas, reguladores de presión, filtros y, posiblemente, un sistema de irrigación química (quimigación).
Carga, altura de bombeo	<p>Carga total, altura total de bombeo (dinámica): Suma de las cargas estática, de presión, fricción y velocidad contra las que una bomba trabaja al bombear a una velocidad de flujo específica. [m]</p> <p>Pérdida de carga: Pérdida de energía en el flujo del fluido. [m]</p>
Cebado	Proceso de llenar manualmente el tubo de succión y entrada de una bomba de superficie. Generalmente, el cebado es necesario cuando la bomba debe situarse encima de la fuente de agua.
Coeficiente de cultivo (Kc)	Relación que existe entre la evapotranspiración real de un cultivo específico y su evapotranspiración potencial (o la evapotranspiración de referencia). Es diferente para cada cultivo y cambia con el tiempo según la fase de crecimiento del cultivo.
Corriente (I)	Corriente eléctrica es el flujo de electricidad que circula por un conductor cuando existe un voltaje a lo largo del mismo, o la velocidad de flujo de la carga eléctrica, expresada en amperios [A].
Descenso	Descenso del nivel del agua en un pozo a causa del bombeo.
Drenaje	La eliminación natural o artificial del excedente de las aguas superficiales o subterráneas y la sal disuelta del suelo con el fin de mejorar la producción agrícola. En caso de drenaje natural, el excedente de agua fluye desde los campos a los lagos, pantanos,

	arroyos y ríos. En un sistema artificial, el excedente de aguas subterráneas o superficiales se elimina mediante conductos subsuperficiales o superficiales.
Eficiencia de la irrigación	Proporción del agua de riego aprovechada en relación con el agua de riego aplicada. [%]
Eficiencia de los paneles solares	La eficiencia de un panel solar es la razón entre la luz incidente en el panel y la cantidad de electricidad producida. Se expresa como porcentaje. La mayoría de los sistemas tienen una eficiencia de alrededor de 16 %, lo que significa que el 16 % de la energía lumínica es convertido en electricidad.
Emisor	Pequeño dispositivo dispensador de microirrigación, diseñado para disipar la presión y descargar un flujo reducido y uniforme de agua en forma de gotas o chorros finos, con una tasa constante que no varía de forma significativa debido a pequeñas diferencias en la altura de presión. Conocido también como “gotero”.
Encharcamiento o estancamiento de agua	Es, en primera instancia, el resultado de un drenaje inadecuado y un exceso de riego y, en menor medida, de la filtración de agua de canales y acequias. El encharcamiento concentra sales, procedentes de las capas más bajas del perfil del suelo, en la zona radicular de las plantas.
Evaporación (E)	Se produce cuando el agua en estado líquido se convierte en vapor de agua y se elimina de la superficie de evaporación. Esta pérdida de agua en forma de vapor se produce desde la superficie del suelo o la vegetación húmeda. [mm, siendo 1 mm = 10 m ³ /ha]
Evapotranspiración (ET)	Pérdida de agua por la acción combinada de la evaporación y la transpiración; la evaporación y la transpiración se producen simultáneamente y no existe un método que permita distinguir fácilmente un proceso de otro. La ET de un cultivo (ET _c) puede estimarse calculando a partir de datos meteorológicos la ET de referencia de un cultivo de referencia determinado (ET _o de césped cortado), y multiplicando el resultado por un coeficiente de cultivo (K _c). La ET _c , o el agua perdida, es igual a las necesidades de agua de un cultivo. [mm, siendo 1 mm = 10 m ³ /ha]
Flujo por gravedad	Utilización de la gravedad para producir presión y flujo de agua; por ejemplo, elevando el tanque de almacenamiento por encima del punto de uso, de manera que el agua fluya sin necesidad de bombeo.
Fotosíntesis	La fotosíntesis es el proceso utilizado por las plantas y otros organismos para convertir energía lumínica en energía química.
Infiltración	Acción y efecto de penetrar el agua en el perfil del suelo.

Insolación	Tasa a la cual la energía solar alcanza una unidad de superficie terrestre, medida en vatios por metro cuadrado [W/m^2]. Llamada también “irradiancia solar”.
Radiación	Integración o suma de la insolación (igual a la irradiancia solar) durante un periodo de tiempo expresada en julios por metro cuadrado (J/m^2) o vatios-hora por metro cuadrado [Wh/m^2].
Irrigación o riego	Irrigación o riego es la aplicación controlada de agua para responder a las necesidades de los cultivos.
Irrigación con fertilizantes (o fertirrigación)	Aplicación de fertilizantes a través del sistema de riego. Una forma de irrigación química o quimigación.
Irrigación química (o quimigación)	Proceso de aplicar productos químicos añadidos al agua (fertilizantes, insecticidas, herbicidas, etc.) a los cultivos o al suelo a través de un sistema de riego.
Latitud	La latitud especifica la posición norte-sur de un punto situado sobre la superficie de la Tierra. Es un ángulo que va de 0° en el ecuador a 90° (norte o sur) en los polos. Las líneas de latitud constante, o paralelas, discurren de este a oeste describiendo círculos paralelos al ecuador. La latitud se utiliza junto con la longitud para especificar la ubicación precisa de puntos de interés sobre la superficie de la Tierra.
Lixiviación	Desplazamiento de materiales solubles a través del perfil del suelo con el agua.
Necesidades brutas de agua de riego	Expresa la cantidad de agua que requiere el sistema de riego. [mm , siendo $1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$]
Necesidades de agua de los cultivos	Cantidad de agua que necesita una planta. Depende del clima y el cultivo, así como también de la gestión y las condiciones ambientales. Es lo mismo que la evapotranspiración de los cultivos.
Necesidades netas de agua de riego	Suma de las necesidades de agua de los cultivos para cada planta durante un periodo de tiempo determinado. Las necesidades netas de agua de riego determinan la cantidad de agua que debe llegar a los cultivos para satisfacer su demanda de agua en el suelo. [mm , siendo $1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$]
Percolación profunda	Movimiento del agua hacia abajo a través del perfil del suelo por debajo de la zona radicular. Esta agua se pierde para las plantas y acaba en las napas subterráneas. [mm , siendo $1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$]

Pérdida por fricción	Pérdida de presión debido a la fricción del agua en el interior de una tubería. Depende del tamaño de la tubería (diámetro interno), la rugosidad de la tubería, los accesorios, la velocidad de flujo y la longitud de la tubería. Se determina consultando una tabla de pérdidas por fricción disponible en una obra de consulta de ingeniería o recurriendo a un proveedor de tuberías. [m]
Pérdidas de conducción	Pérdida de agua de un canal o tubería durante el transporte debido a filtraciones, fugas, evaporación u otras pérdidas.
Potencia (P)	Es la rapidez con que la energía es transportada por un circuito eléctrico expresada en vatios. La potencia depende de la cantidad de corriente y el voltaje del sistema. [W]
Presión	Medida de la fuerza presente en un sistema. Esta es la fuerza dividida por la sección que mueve el agua a través de la tubería, los aspersores y los emisores. La presión estática es la que se mide cuando el agua no fluye, y la dinámica la que se mide cuando el agua fluye. La presión y el flujo se afectan mutuamente. [bar, psi, kPa]
Radiación solar global (G)	Energía transportada por la radiación solar que incide sobre una superficie durante cierto periodo de tiempo. La magnitud de la radiación solar global depende del sitio donde se mida, dado que en ella influyen, entre otros factores, las nubes, la humedad del aire, el clima, la altitud y la latitud. La radiación solar global incidente sobre una superficie horizontal es medida por una red de estaciones meteorológicas esparcidas por todo el mundo, y se expresa en kilovatios-hora por metro cuadrado. [kWh/m ²]
Riego	Término que hace referencia al riego de superficie, riego por aspersión y/o riego localizado.
Riego de superficie	<p>Método de irrigación que utiliza la superficie del suelo para transportar el agua mediante el flujo por gravedad desde la fuente a las plantas. Los siguientes son métodos comunes de riego de superficie:</p> <p>Riego por surcos – el agua se aplica a cultivos en hilera a través de acequias o canales pequeños excavados entre las hileras con implementos de labranza</p> <p>Riego por compartimientos (bancales o eras) – el agua es aplicada a una superficie completamente nivelada rodeada por diques</p> <p>Riego por inundación – el agua es aplicada a la superficie del suelo sin controles de flujo, tales como surcos o crestas.</p>

Riego por goteo	Agua que se aplica a la superficie del suelo a través de emisores de muy bajo caudal (gotas o chorros finos de agua). También conocido como “microirrigación”.
Salinidad (salino)	La salinidad hace referencia a la cantidad de sales disueltas en el agua del suelo.
Salinización	Se produce cuando se utilizan aguas superficiales o subterráneas con contenido de sales minerales para regar cultivos, depositándose sales en la zona radicular. En el proceso de evapotranspiración, la sal se queda en el suelo, lo que aumenta su contenido de sal.
Seguimiento del punto de máxima potencia, MPPT	Es un circuito electrónico dentro del inversor que permite operar al generador solar en el punto de máxima potencia eléctrica.
Tenencia del agua	Hace referencia a los acuerdos formales e informales que determinan el modo en que las personas, las comunidades y las organizaciones acceden a y usan los recursos hídricos (FAO 2016b).
Tenencia de la tierra	Hace referencia a la relación, definida en forma jurídica o consuetudinaria, entre personas, en cuanto individuos o grupos, con respecto a la tierra (VGGT 2012).
Transpiración	Agua líquida captada por las raíces de las plantas, contenida en los tejidos de estas, y vaporizada o transpirada a la atmósfera mediante pequeños poros situados en las hojas de la planta, llamados estomas. [mm, siendo 1 mm = 10 m ³ /ha]
Tubos laterales	Tubo(s) que van de las válvulas de control a los aspersores o tubos emisores de gotas.
Viabilidad financiera	Capacidad de generar suficientes ingresos para cubrir los gastos de funcionamiento y las necesidades financieras, y, en el mejor de los casos, producir beneficios. La viabilidad financiera suele evaluarse aplicando los enfoques de “valor actual neto” (VAN) y de “tasa interna de retorno” (TIR), junto con una estimación de la sensibilidad de los elementos de costo e ingreso (v. módulo INVIERTE).
Voltaje (U o V)	Voltaje o tensión eléctrica es el potencial existente entre dos puntos, o la diferencia de carga entre dos puntos, expresado en voltios [V].
Zona radicular	Profundidad o volumen de suelo del que las plantas extraen agua con eficacia. [m]

RIEGA

1. Introducción



2. Entender los recursos hídricos



3. Evaluar los impactos ambientales y socioeconómicos



4. Calcular las necesidades de agua



5. Seleccionar el método de riego para el campo



6. Planificar las estructuras de entrada, conducción y distribución del agua



7. Consejos para un riego eficiente

OBJETIVO DEL MÓDULO Y ORIENTACIÓN

El riego constituye un medio importante para mejorar la producción agrícola, pero en numerosos países en desarrollo aún no se ha explotado el potencial de la agricultura de regadío. Si bien el riego conlleva claros beneficios, causa un impacto importante en el medio ambiente (y, por extensión, en las sociedades y economías dependientes del mismo). Por consiguiente, se han desarrollado numerosas tecnologías y enfoques con vistas a minimizar los efectos negativos socioeconómicos y ambientales.

El módulo **RIEGA** expone de forma introductoria las complejidades en torno al riego. Forma parte de la Caja de herramientas de sistemas de riego solar (SPIS, por sus siglas en inglés) (GIZ y FAO, 2018), que comprende otros módulos y herramientas complementarias relevantes a la hora de tomar decisiones fundadas en materia de SPIS.

Además, este módulo se complementa con dos herramientas basadas en Excel:

- **RIEGA – Herramienta de suelos** para determinar un programa de riego apropiado para cultivos seleccionados y calcular las capacidades de almacenamiento de agua
- **RIEGA – Herramienta de evaluación del impacto** para examinar y sopesar los impactos socioeconómicos y ambientales de un proyecto de SPIS.

1. INTRODUCCIÓN

EL RIEGO ES ESENCIAL PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y EL DESARROLLO RURAL

A escala mundial, la agricultura de regadío copa aproximadamente el 70 % de las extracciones de agua, lo que la convierte en el mayor consumidor de agua. La agricultura de regadío proporciona aproximadamente el 40 % de los recursos alimentarios mundiales, incluida la mayoría de su producción hortícola, a partir de un 20 % estimado de las tierras agrícolas, o alrededor de 300 millones de ha en todo el mundo (FAO 2011). Mayormente, el futuro incremento de la producción de cultivos en los países en desarrollo probablemente será el resultado de la intensificación, en cuyo contexto el riego irá adoptando cada vez más un papel estratégico (AQUASTAT).

En muchos países del mundo, el riego ha generado beneficios directos en términos de productividad y seguridad alimentaria, produciendo comúnmente alimentos con mayores intensidades de cultivo y con rendimientos al menos dos veces superiores a los rendimientos de los cultivos de secano próximos (Faurès et al. 2007). El riego puede reducir la dependencia de las áreas propensas a la sequía respecto de la agricultura de secano y aumentar las intensidades de cultivo en zonas húmedas y tropicales “ampliando” la estación húmeda e introduciendo medios eficaces para el control del agua. Así pues, el riego suele considerarse el motor que impulsa el desarrollo rural, habida cuenta de que produce alimentos, brinda oportunidades de trabajo y genera ingresos.

Con todo, el riego también se ha asociado a impactos ambientales negativos, entre los que se incluyen la reducción del caudal de agua; cambios en el acceso al agua en las zonas situadas río abajo; el incremento de la salinidad del suelo; o la disminución de humedales, que desempeñan funciones

ecológicas importantes para la biodiversidad, la retención de nutrientes y el control de inundaciones. Los cambios consiguientes en el uso de la tierra y la gestión de recursos no sostenible pueden redundar en el deterioro de la calidad y el agotamiento de los recursos hídricos y de los ecosistemas asociados, de los cuales dependen los medios de vida.

Además, la calidad del agua utilizada para el riego influye en el rendimiento y la cantidad de los cultivos, así como en la permeabilidad y productividad del suelo, y en la salud del ecosistema en general. Pese a ello, la escasez de agua y los niveles de contaminación son tan significativos en numerosas partes del mundo que millones de agricultores y agricultoras se ven obligados a regar con agua de calidad marginal, como aguas residuales urbanas o aguas salinas de drenaje agrícola.

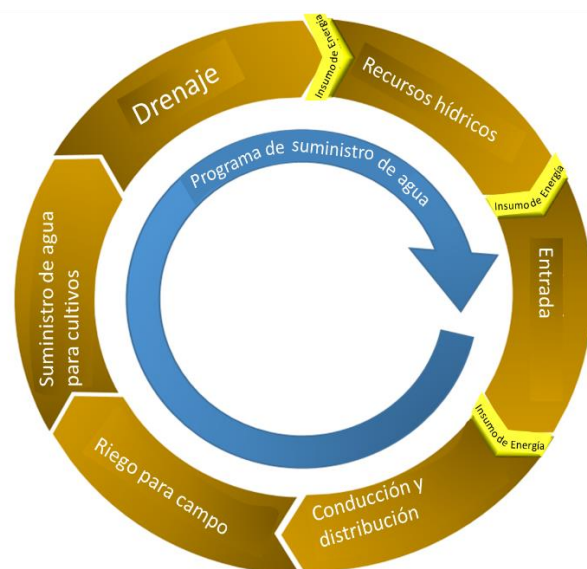
Los impactos del cambio climático ya están afectando a la agricultura de regadío, dado que la demanda de agua va en aumento, la productividad de los cultivos está disminuyendo, y la disponibilidad del agua resulta cada vez más limitada, precisamente en aquellos lugares del mundo en los que el riego es más necesario o presenta una clara ventaja comparativa.

¿QUÉ CARACTERIZA A UN BUEN SISTEMA DE RIEGO SOLAR?

El riego con energía solar normalmente se introduce como un sistema nuevo o viene a modernizar un sistema ya existente. En este último caso, la energía solar sustituye con sistemas fotovoltaicos (FV) a las formas convencionales de energía. Las bombas alimentadas con energía solar pueden utilizarse para la extracción de recursos hídricos superficiales o subterráneos.

Al diseñar un sistema de riego con energía solar (SPIS), es fundamental tener en cuenta el ciclo íntegro del sistema de

suministro de agua. Este incluye los recursos hídricos, la admisión, conducción y distribución del agua, los métodos de riego para el campo, el suministro de agua para cultivos, y el drenaje. La energía del sistema de suministro de agua proviene de las secciones de admisión, conducción y distribución mediante bombeo, elevación y transporte.



Análisis esquemático del sistema de suministro de agua para fines agrícolas, adaptado de "Irrigation Techniques for Small-scale Farmers"

(Fuente: Técnicas de riego para pequeños agricultores, FAO 2014)

RESULTADO / PRODUCTO

- Presentación general del rol del riego en la agricultura y de los potenciales impactos ambientales;
- sinopsis del sistema de suministro de agua para fines agrícolas e insumos de energía.

DATOS REQUERIDOS

- Datos del sitio, incluidas previsiones climáticas, ubicación de la explotación, topografía,

Mediante el examen de estos elementos, el presente módulo brinda orientación sobre algunos de los aspectos clave relacionados con la planificación y gestión de un sistema de riego con energía solar para la agricultura.

rotaciones de cultivos deseadas, área de tierra a regar, tipo de suelo;

- datos sobre el agua, incluida la calidad, cantidad, caudal, profundidad y variabilidad del agua;
- información sobre el diseño/el esquema del sistema de riego.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Diseñadores y diseñadoras, gestores y gestoras de sistemas de riego, grupos de usuarios y usuarias del agua u organización de agricultores y agricultoras;
- gestores y gestoras de proyectos;
- responsables políticos.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Comprender el vínculo entre el agua y el ciclo de suministro de energía.
- Evaluar los riesgos climáticos y comprender las limitaciones que existen para el sistema de suministro de agua.

2. ENTENDER LOS RECURSOS HÍDRICOS

El tipo de fuente de agua, su elevación o profundidad, la cantidad de agua, la responsabilidad sobre los recursos, y la calidad del agua: todos estos aspectos determinan en gran medida los límites dentro de los cuales se pueden elegir cultivos y tomar decisiones sobre el método de riego. Conocer estos aspectos debería ser el primer paso de cualquier proyecto de planificación o implementación de SPIS.

Fuentes de agua pueden ser aguas superficiales, aguas subterráneas y aguas no convencionales. Generalmente, el agua de riego se extrae de ríos, lagos y acuíferos. A escala mundial, en las áreas de riego, en aproximadamente el 61 % de los casos se utilizan aguas superficiales, y en el 38 % aguas subterráneas. En Asia, el norte de África y Oriente Medio, el uso de aguas subterráneas ha aumentado rápidamente en los últimos años a consecuencia de la introducción de la tecnología de pozos entubados, a lo que se suma el acceso mejorado a energía y los bajos precios energéticos (datos de 2013, AQUASTAT 2016). Las fuentes no convencionales, como las aguas residuales tratadas y el agua desalada, suponen una fuente de riego de escasa importancia a escala mundial (sobre un 1 %). El uso de esta agua para riego se concentra en el Mediterráneo, Oriente Medio y las regiones andinas.

La **elevación** de la fuente de agua respecto del campo determina si es posible suministrar el agua a presión. Esto reviste una particular relevancia para las aguas superficiales, en cuyo caso es importante discernir si la gravedad por sí sola puede permitir el funcionamiento de sistemas de riego presurizados o si se requiere el uso de bombas. En el caso de aguas subterráneas, la profundidad del nivel freático determina el tamaño de la bomba y los costos asociados. Actualmente, las bombas alimentadas con energía solar pueden elevar agua hasta 200 m (y esta cifra va en aumento). Sin embargo, estas

bombas son más caras y, por lo general, están menos disponibles.

Asimismo, también es importante la descarga disponible desde la fuente (la **cantidad de agua**) y la variabilidad. Entender qué recursos hídricos están disponibles, y en qué condiciones, ayuda a decidir cuál es el método de riego más adecuado para el contexto ambiental (clima, suelos y paisaje) y agrícola concreto. ¿Cuándo y cuánto llueve a lo largo del año? ¿Cuáles son los recursos hídricos superficiales y subterráneos disponibles? ¿Cuál es la variabilidad de esos recursos hídricos a lo largo del año en términos de caudal, cantidad y calidad? ¿Cuán variable es la disponibilidad de agua en el contexto del cambio climático? ¿Cuáles son los requisitos de otros usuarios y usuarias? ¿Cuáles son los requisitos de caudales ambientales?

La herramienta **SALVAGUARDA EL AGUA – Lista de verificación de gestión de los recursos hídricos** ayuda a hacerse una idea general de la disponibilidad de recursos hídricos. En las regiones en las que ya existe escasez de agua y las regiones que previsiblemente experimentarán escasez de agua en los próximos 20 años (véanse las [predicciones del IRM](#)), se recomienda realizar un análisis más profundo del balance hídrico y un estudio de viabilidad con datos concretos antes de instalar un SPIS.

Debería realizarse un estudio del acuífero para determinar las tasas de extracción sostenible. La **responsabilidad** de llevar a cabo este análisis depende de la atribución de la propiedad de los recursos dentro de la cuenca hidrográfica. En la mayoría de los casos resulta prudente establecer un comité de cuenca que involucre a las partes interesadas relevantes y se responsabilice del análisis del acuífero, así como de permitir y hacer el seguimiento de la extracción, además de velar por el cumplimiento de las tasas acordadas. Si

los recursos se gestionan de forma más fragmentada, entonces las autoridades que conceden los permisos deberían considerar los impactos de sus acciones sobre toda la cuenca, otras partes interesadas y el ecosistema. En cualquier caso, la resiliencia con respecto a futuros escenarios climáticos es clave para la longevidad de la producción agrícola.

Asimismo, es preciso tener en cuenta la **calidad del agua**, ya que afecta a la elección del método de riego y los tipos de cultivos que se pueden cultivar. Tanto la composición química del agua como la carga de sedimentos pueden influir en esta decisión. La presencia de determinados elementos, como sodio (Na), cloro (Cl) y boro (B), por encima de un determinado umbral puede provocar quemaduras en las hojas y defoliación si se utiliza el riego por aspersión. De igual modo, la concentración total de sales en el agua afecta a los requisitos de lixiviación, lo que redundaría en que el agua salina no resulte muy adecuada para el riego por surcos. La carga de sedimentos del agua condiciona las necesidades de filtración en el riego por goteo, así como el programa de selección y mantenimiento de los goteros, y, por ende, la aplicabilidad de este tipo de riego en determinadas condiciones. Asimismo, los sedimentos aumentan el desgaste de las bombas y otros componentes del riego por aspersión.

RESULTADO / PRODUCTO

- Identificación de los factores clave que determinan el método de riego;
- sinopsis general de la cantidad, calidad y variabilidad del agua;
- sensibilización acerca de los riesgos para el medioambiente que requieren una atención específica;
- establecimiento de un comité de cuenca o medios estructurados para evaluar la extracción sostenible;

- comprender la necesidad de gobernanza de los recursos hídricos;
- sensibilización acerca de los riesgos que implica el cambio climático y la necesidad de ser resiliente.

DATOS REQUERIDOS

- Información sobre la fuente de agua (aguas superficiales, subterráneas, no convencionales) y su comportamiento (velocidades de recarga, velocidades de descenso, etc.);
- información sobre la elevación de la fuente de agua respecto del campo;
- información sobre disponibilidad, calidad y caudal de agua;
- información sobre futuros escenarios de disponibilidad de agua;
- información sobre otros requisitos de uso río arriba y río abajo.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Autoridad responsable de la gestión de los recursos hídricos y la concesión de licencias de agua;
- servicios hidrológicos;
- gestores y gestoras del riego, grupos de usuarios y usuarias del agua u organización de agricultores y agricultoras;
- agricultores y agricultoras;
- usuarios y usuarias del agua río abajo;
- agencias de protección ambiental o similares, ONG ambientales.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Ningún proyecto de riego puede desarrollarse sin la obtención previa de un permiso de extracción de agua o similar.

- Las cuotas de extracción de agua son vinculantes y establecen la disponibilidad máxima de agua para la demanda pico.
- Es imprescindible evaluar los riesgos climáticos y comprender las limitaciones que existen para el sistema de suministro de agua.
- Es necesario revisar regularmente los permisos para garantizar la resiliencia y la asignación justa de los recursos hídricos, habida cuenta del cambio climático y la variación de la disponibilidad del agua.
- Es necesario realizar análisis del acuífero y de la cuenca hidrográfica, a fin de comprender el sistema hidrológico, prever los impactos del SPIS, y mitigar los resultados negativos.

3. EVALUAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS

Los proyectos de riego y drenaje derivan invariablemente en numerosos cambios ambientales y socioeconómicos de gran alcance. Algunos benefician a la población, mientras que otros amenazan la productividad a largo plazo de los proyectos de riego y drenaje en sí, y ponen en riesgo los recursos naturales. Los cambios negativos no se limitan al aumento de la contaminación o la pérdida del hábitat para la flora y la fauna nativas, sino que se extienden a toda la gama de componentes ambientales, tales como suelo, agua, aire y energía, y al sistema socioeconómico.

RIEGO Y MEDIO AMBIENTE

El riego permite expandir e intensificar la agricultura. No obstante, sin una gestión adecuada el desarrollo del riego puede conllevar importantes impactos ambientales negativos.

A nivel de cuencas, los sistemas de riego pueden afectar negativamente a la hidrología. Los grandes proyectos de riego que embalsan o desvían aguas de los ríos tienen el potencial de causar perturbaciones importantes para el medio ambiente como resultado de los cambios en la hidrología y la limnología de las cuencas fluviales. La reducción del caudal fluvial modifica el uso y la ecología de la tierra de las llanuras aluviales y puede originar la intrusión de agua salada en el río y en las aguas subterráneas de las tierras adyacentes. La derivación del agua con fines de riego reduce, asimismo, el suministro de agua para los usuarios y usuarias que viven río abajo, incluidos municipios, industrias y sector agrícola. Asimismo, al reducir el flujo de base de los ríos también disminuye la dilución de los residuos municipales e industriales vertidos río abajo, lo que implica peligro de contaminación y un riesgo para la salud.

El riego con aguas subterráneas puede aumentar el riesgo de extracción excesiva,

que provoca agotamiento de las aguas subterráneas, hundimiento de tierras, descenso de la calidad del agua, e intrusión de agua salada en zonas costeras.

Además, es importante comprender de qué modo la calidad del agua se ve afectada por el desarrollo del riego. En la calidad del agua que entra en el área de riego influye el uso de la tierra río arriba, en particular en relación con el contenido de sedimentos (por ejemplo, procedentes de la erosión provocada por la agricultura) y la composición química (por ejemplo, procedentes de los contaminantes agrícolas e industriales). El uso del agua fluvial con una gran carga de sedimentos puede derivar en la obstrucción de los canales. Los flujos de retorno contaminados que contienen concentraciones perjudiciales de sales, residuos orgánicos, residuos agroquímicos u otras sustancias provocan la degradación de los ecosistemas río abajo. El aumento del nivel de nutrientes en el agua de riego y de drenaje puede originar floraciones de algas, la proliferación de malezas acuáticas, y la eutrofización en los canales de riego y los cursos de agua río abajo.

A nivel de los campos de cultivo, existe un gran riesgo de encharcamiento y salinización. La salinidad inducida por el riego puede ser el resultado del uso de agua salina, el riego de suelos salinos, y niveles crecientes de aguas subterráneas salinas en combinación con una lixiviación inadecuada. La salinidad reduce el crecimiento de las plantas y la productividad del suelo. Los suelos afectados por la sal son más frágiles y propensos a la erosión. En el caso de los suelos sódicos, la pérdida de materia orgánica debilita las estructuras del suelo, incrementa las emisiones de dióxido de carbono y disminuye la infiltración de agua a consecuencia del sellado superficial. Esto afecta inevitablemente a la

productividad agrícola, los rendimientos de los cultivos y los ingresos de los agricultores y agricultoras.

Impactos negativos potenciales de los sistemas de riego

Aumento de la evaporación en el sistema
Degradación de la tierra de regadío
<ul style="list-style-type: none"> • Salinización • Alcalinización • Aumento de la recarga de aguas subterráneas, encharcamiento y problemas de drenaje • Acidificación del suelo • Compactación del suelo • Erosión del suelo
Baja calidad del agua
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la calidad del agua de riego; lixiviación • Problemas con la calidad del agua para los usuarios y usuarias río abajo debido a la calidad del flujo de retorno de riego
Agotamiento de las aguas subterráneas
<ul style="list-style-type: none"> • Desecamiento de pozos de agua potable y de riego • Intrusión de agua salada a lo largo de las zonas costeras • Reducción del flujo de base
Reducción de la descarga fluvial río abajo
Degradación ecológica
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la biodiversidad en el área de regadío y alrededores • Daño a los ecosistemas río abajo debido a la reducción de la calidad y cantidad de agua
Impactos negativos en la salud humana
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la incidencia de enfermedades relacionadas con el agua

En las tierras de regadío, especialmente en las zonas con capas freáticas altas, por lo general se requiere drenaje para evitar que se produzcan encharcamientos. Dado que el drenaje de aguas subterráneas es una operación compleja y costosa (a menudo más costosa que el proyecto de riego inicial en sí), existe la tentación de iniciar nuevos proyectos de riego ignorando la necesidad

de drenaje o retrasando su instalación hasta que se convierte en una necesidad urgente. Sin embargo, cuando la necesidad de drenaje se vuelve inevitable, los costos de implementación pueden ser prohibitivos.

Así pues, es crucial hacer un seguimiento de las capas freáticas mediante pozos de observación (piezómetros), así como de la calidad de las aguas subterráneas. De este modo, se puede detectar precozmente el peligro de salinización y el agotamiento de las aguas subterráneas.

¿PUEDE EL RIEGO CON ENERGÍA SOLAR MEJORAR LA EFICIENCIA DE USO DEL AGUA?

La introducción de la tecnología solar puede ir pareja con métodos de riego más eficientes en cuanto al uso del agua que pueden ayudar a mejorar la eficiencia de la aplicación de agua en el campo. No obstante, existe el riesgo de que, en lugar de ahorrar agua, en realidad se genere un aumento del consumo de agua cuando no haya límites que alienten o incentiven el uso eficiente de agua. Los agricultores y agricultoras podrían (i) aplicar más agua en el campo en general (por ejemplo, pasando de un riego deficitario a un riego óptimo), (ii) ampliar el área de tierra de regadío, (iii) cambiar a cultivos de mayor valor, pero que con frecuencia requieren más agua, (iv) vender agua a comunidades o a agricultores o agricultoras vecinos. Esto resulta particularmente problemático en áreas en las que los recursos de aguas subterráneas ya están sobreexplotados y las velocidades de recarga son lentas.

Cabe distinguir entre los siguientes conceptos:

La **eficiencia en el uso del agua** representa la relación entre el uso efectivo del agua y la extracción real de agua. Permite determinar, en un proceso específico, cómo de eficaz es el uso del

agua. La eficiencia depende de la escala y el proceso.

Eficiencia de riego: La relación o porcentaje de las necesidades de agua de riego de los cultivos en una explotación, campo o proyecto de regadío, con respecto al agua derivada de la fuente de suministro.

Eficiencia de riego del sistema: La eficiencia de riego del sistema (en %) hace referencia al agua bombeada o desviada a través de la toma de admisión del sistema que efectivamente es consumida por las plantas.

La eficiencia de riego del sistema puede subdividirse en:

- La **eficiencia de conducción**, que representa la eficiencia del transporte de agua en canales. Depende principalmente de la longitud de los canales, el tipo de suelo o la permeabilidad de las orillas de los canales, y la condición de los canales.
- La **eficiencia de aplicación en el campo**, que representa la eficiencia de la aplicación de agua en el campo.

CONSECUENCIAS IMPREVISTAS DE LA EFICIENCIA

A menudo se alega que el SPIS, en combinación con el riego por goteo, va a garantizar que el agua se use de forma eficiente a nivel de campo. Los sistemas de goteo y aspersión permiten a los agricultores y agricultoras mejorar los horarios y la uniformidad de distribución del riego, lo que puede mejorar los rendimientos de los cultivos, de modo que aumenta la transpiración por hectárea. La perspectiva de mayores retornos por hectárea, no obstante, alentará a algunos agricultores y agricultoras a expandir el área cultivada o a pasar a cultivos de mayor valor que requieren mayor consumo de agua (Berbel y Mateos, 2014). Partir del supuesto de que el riego por goteo va a conllevar automáticamente ahorros de agua a nivel de explotación es una falacia.

La eficiencia hídrica a nivel de campo o explotación también puede tener implicaciones a nivel de cuenca. Los sistemas de recursos hídricos son sistemas altamente integrados, y las ganancias aparentes (en términos de eficiencia en el uso del agua) en una parte del sistema pueden quedar contrarrestadas por pérdidas reales en otras partes de este. Precipitaciones, aguas superficiales, aguas subterráneas, índice de humedad del suelo, y procesos de evaporación a partir de diferentes usos de la tierra: todo ello forma parte del mismo ciclo hidrológico y no se puede contemplar como elementos independientes. Los cambios en el uso del agua en un ámbito pueden provocar consecuencias imprevistas o indeseadas, ya sea localmente o bien río abajo.

IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS

El principal objetivo de la agricultura de regadío es aumentar la producción agrícola y, en consecuencia, mejorar el bienestar económico y social de las personas que recurren a ella. Sin embargo, el cambio de los patrones de uso de la tierra como consecuencia del riego puede originar también otros impactos socioeconómicos, por ejemplo, en los ámbitos de tenencia de la tierra, tenencia del agua, y mano de obra para la construcción, la operación y el mantenimiento.

Parcelas pequeñas, derechos comunales de uso de las tierras, y derechos sobre las tierras tradicionales y legales que entran en conflicto: todo ello genera dificultades cuando la tierra pasa a explotarse como agricultura de regadío. Es probable que los acuerdos tradicionales sobre la tenencia de la tierra queden en suspenso por trabajos de desarrollo y rehabilitación importantes (p. ej. construcción de presas, reservorios y canales). El impacto más significativo podría ser el reasentamiento de personas. Esto puede resultar particularmente perjudicial para las comunidades y requiere sensibilidad a la hora de desarrollar los proyectos y una compensación adecuada. El cambio de uso de la tierra, como es el

desarrollo de un nuevo sistema de riego, también puede afectar negativamente a quienes estén usando la tierra para otros fines, además de a la biodiversidad local. Si se utiliza para monocultivos de regadío la tierra a la que se venían dando otros usos como son la caza, el pastoreo, la recolección de leña, la producción de carbón vegetal o el cultivo de hortalizas, dichos usos se verán afectados negativamente. Las mujeres, los grupos de migrantes y las clases sociales más pobres a menudo pierden el acceso a los recursos y ven incrementada su carga de trabajo. En contrapartida, el aumento de los ingresos y las mejoras nutricionales obtenidos gracias a la agricultura de regadío pueden beneficiar particularmente a las mujeres y los niños y niñas.

Como resultado de cambios en las infraestructuras y el acceso al agua pueden surgir problemas similares. Estas circunstancias con frecuencia aumentan la desigualdad de oportunidades. Por ejemplo, los propietarios y propietarias de tierras se benefician en mayor grado que los arrendatarios y arrendatarias o aquellas personas con derechos comunales sobre la tierra.

Estos impactos socioeconómicos deben ser evaluados y tenidos en cuenta en los procesos de planificación o modernización de sistemas de riego. Este aspecto podría ser menos relevante para las unidades de bombeo individuales o los proyectos basados en un diseño, planificación y gestión dirigidos por la comunidad. Debería garantizarse que se satisfagan las necesidades de las comunidades y usuarios y usuarias locales y que se prevean los retos potenciales y se preparen medidas de mitigación para el caso de que estos se materialicen.

IMPACTOS POTENCIALES DEL RIEGO SOBRE LA SALUD

Los riesgos de enfermedades transmitidas por el agua o relacionadas con el agua aumentan en zonas que carecen del drenaje adecuado de canales y suelo, cuentan con canales no revestidos y en las

que no se controla el crecimiento de la vegetación, o que se dejan con agua estancada (p. ej. en zanjas, pero también en campos de arroz o caña de azúcar). Los vectores de enfermedades como la malaria, la bilharziasis (esquistosomiasis) y la oncocercosis proliferan en las aguas de riego.

Entre otros riesgos para la salud relacionados con el riego se incluyen aquellos asociados con el incremento del uso de agroquímicos, el deterioro de la calidad del agua y el aumento de la presión demográfica en la zona. La reutilización de aguas residuales para el riego, dependiendo de la extensión del tratamiento, tiene el potencial de transmitir enfermedades contagiosas. Entre los grupos de población en riesgo se cuentan los trabajadores y trabajadoras agrícolas, los consumidores y consumidoras de cultivos regados con aguas residuales y de carne procedente de animales alimentados con esos cultivos, y las personas que viven en sus proximidades.

HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

La gestión inteligente del medio ambiente requiere la habilidad de prever, monitorizar, medir y analizar las tendencias ambientales y evaluar las capacidades de la tierra y el agua a diferentes niveles, desde una pequeña parcela de regadío hasta una cuenca de captación. La adopción de evaluaciones del impacto ambiental (EIA) permitirá a los países planear el uso del agua y de la tierra de forma integrada, evitando daños ambientales irreversibles.

La herramienta **PROMUEVE – Herramienta de evaluación de impacto**, basada en “The ICID Environmental Check-List. To Identify Environmental Effects of Irrigation, Drainage and Flood Control Projects” (Mock y Bolton, 1993) puede servir como punto de partida.

CONTABILIDAD DEL AGUA

Es importante estudiar sistemáticamente la situación actual y las tendencias de la oferta, la demanda, la accesibilidad y el uso del agua (FAO 2012). Esto es lo que se conoce como contabilidad del agua. Habida cuenta de que evalúa los flujos de retorno, mide tanto la eficiencia de la cuenca como del campo y diferencia entre ahorros consuntivos y no consuntivos, la contabilidad del agua ayuda a abordar cuestiones como: ¿cuáles son las causas subyacentes de los desequilibrios entre la oferta de agua (cantidad y calidad) y la demanda en cuanto a diferentes usos y usuarios o usuarias del agua? ¿Es sostenible el nivel actual de uso consuntivo de agua? ¿Qué oportunidades existen para hacer el uso del agua más equitativo o sostenible (FAO 2016)? Esta evaluación debería realizarse antes de instalar el SPIS, con el fin de establecer una referencia, así como, tras la implementación, para medir periódicamente los cambios provocados por el riego.

Al evaluar los impactos del riego con energía solar sobre la eficiencia en el uso del agua, es importante distinguir entre estos diferentes niveles de análisis (campo/explotación/sistema/cuenca) y llevar a cabo una contabilidad sistemática del agua para comprender qué opciones existen para optimizar el uso del agua en general.

Estos esfuerzos deben ir acompañados de políticas y mecanismos de regulación adecuados. A la hora de conceder subsidios, se pueden seguir criterios específicos (p. ej. solo en zonas donde no se produzca sobreexplotación de las aguas subterráneas) o proporcionar incentivos para el uso del agua; los procesos de licitación pueden establecer estándares (p. ej., se integrará un sistema de medición de aguas subterráneas en la bomba solar); y las normativas pueden restringir el uso del SPIS a determinadas horas o lugares. Si se tiene en cuenta todo lo anterior, el SPIS tiene el potencial de mejorar de forma

sustancial las vidas de muchas personas. Para más información al respecto, consulte el informe de 2017 de la FAO *“The Benefits and Risks of Solar Powered Irrigation – A Global Overview”* (Panorama global de los beneficios y riesgos del riego con energía solar).

HERRAMIENTAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

Muchos de estos impactos ambientales negativos pueden abordarse mediante la planificación e implementación eficaces de medidas de protección y conservación ambiental.

No solamente se pueden revertir los impactos negativos, sino que, con un enfoque de gestión integrada, se pueden obtener otros beneficios. El riego, por ejemplo, puede desempeñar un papel positivo en la gestión del uso de la tierra. Intensificando la producción de alimentos y forraje en las tierras más favorables, por ejemplo, puede reducirse la presión en las tierras marginales, las cuales se pueden usar para la producción agrícola de secano o para pastoreo. Las presas y reservorios ofrecen vías para mitigar los potenciales impactos negativos que suponen los cambios en los caudales de las crecidas, pero requieren una planificación esmerada para no interrumpir el flujo ni perjudicar a los usuarios y usuarias río abajo o al medio ambiente. La planificación de sistemas de riego que incluya llanuras aluviales designadas e infraestructuras naturales, como por ejemplo humedales, puede mejorar la recarga de aguas subterráneas y atenuar los caudales pico de descarga.

Para más información sobre prácticas de gestión sostenibles de la tierra, el suelo y el agua consúltense los siguientes enlaces:

<http://www.fao.org/land-water/land/sustainable-land-management/slm-practices/en/>

EVALUACIÓN DE LA SALINIDAD DEL SUELO

Soil Salinity Assessment. FAO Irrigation and Drainage Paper 57.
www.fao.org/docrep/019/x2002e/x2002e.pdf

Visual Soil Assessment Field Guides, documento de la FAO
<http://www.fao.org/3/a-i0007e.pdf>

EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE LA TIERRA

Land Degradation Assessment in Dry Lands, documento de la FAO
www.fao.org/fileadmin/templates/nr/kagera/Documents/LADA_manuals/MANUAL2_final_draft.pdf

CALIDAD DEL AGUA

USGS *Water Quality Assessment – Field Methods and Techniques*:
<https://water.usgs.gov/owq/methods.html>

LISTA DE VERIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA

PROMUEVE – HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO

RESULTADO / PRODUCTO

- Comprensión de las vinculaciones entre riego, medio ambiente y sociedad;
- comprensión de los riesgos que el SPIS supone para el caudal ecológico y las opciones para mitigar el riesgo;
- sensibilización sobre las eficiencias en los sistemas de riego con energía solar;
- sensibilización sobre los impactos en y los roles de los derechos sobre el agua, derechos sobre la tierra y la igualdad de género en el ecosistema socioeconómico;
- sensibilización sobre los impactos sobre la salud y los costos que se aplazan cuando no se han planificado suficientemente los

sistemas de riego y se prescinde del drenaje adecuado;

- comprender la contabilidad del agua y las políticas, subsidios y sistemas de gobernanza potenciales que pueden derivar en sistemas de riego responsables;
- sensibilización sobre las herramientas disponibles para la gestión ambiental.

DATOS REQUERIDOS

- Datos necesarios para herramientas de gestión ambiental;
- datos de referencia para hacer un seguimiento de los impactos socioeconómicos y ambientales del riego (datos sobre cuestiones de género, datos sobre ingresos, biodiversidad, empleo, uso del agua, calidad del agua, salud, datos conductuales de intervenciones gubernamentales, cambios en el uso de la tierra, datos sobre el suelo, etc.).

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Planificadores y planificadoras de riego/gestores y gestoras de sistemas;
- responsables políticos;
- autoridad responsable de la gestión de los recursos hídricos y la concesión de licencias de agua;
- gestores y gestoras del riego, grupos de usuarios y usuarias del agua u organización de agricultores y agricultoras;
- agencias de protección ambiental o similares, ONG ambientales.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Impactos de gran alcance, tanto positivos como negativos, de los sistemas de riego con energía solar.
- Importancia de planificar de forma anticipatoria el drenaje, la salud

pública, y el desarrollo inclusivo en toda la cuenca.

- Necesidad de implicarse en la recopilación de datos de referencia.
- Comprender las diferentes eficiencias en SPIS e identificar las potenciales consecuencias negativas.
- Utilizar soluciones basadas en la naturaleza como medida para comprender el impacto del riego en el uso de la tierra, en la biodiversidad, y en la mitigación, adaptación y resiliencia potenciales con respecto al cambio climático.
- Comprender que los derechos sobre la tierra, los derechos sobre el agua y las cuestiones de género interactúan con el uso de la tierra y la productividad agrícola.

4. CALCULAR LAS NECESIDADES DE AGUA

Comprender cuándo, dónde y en qué cantidad se necesita agua para la producción agrícola y otros usos resulta crucial con vistas a una gestión eficiente del agua.

NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS

Las necesidades de agua de los cultivos se definen como la cantidad total de agua requerida para satisfacer la pérdida de agua producida por evapotranspiración. En otras palabras, es la cantidad de agua que requieren los distintos cultivos para crecer de manera óptima.

Las necesidades de agua de los cultivos se aplican siempre al crecimiento del cultivo en condiciones óptimas, es decir, un cultivo uniforme, con un crecimiento activo, que proyecte sombra en toda la superficie, sin enfermedades y con un suelo en condiciones favorables (incluidas fertilidad y agua). Cuando el entorno cumple las condiciones indicadas, el cultivo alcanza todo su potencial de producción.

Las necesidades de agua de los cultivos dependen principalmente de:

- *El clima:* en un clima de sol y calor los cultivos necesitan más agua diariamente que en un clima nublado y frío
- *El tipo de cultivo:* los cultivos como el maíz o la caña de azúcar necesitan más agua que los cultivos como el mijo y el sorgo
- *La fase de crecimiento del cultivo:* los cultivos completamente desarrollados necesitan más agua que los cultivos que acaban de plantarse.

Impacto de las condiciones climáticas sobre las necesidades de agua de los cultivos (fuente: FAO 1989)

Factor climático	Nec. agua cultivo	
	Alta	Baja
Temperatura	calor	frío
Humedad	baja (seco)	alta (húmedo)
Vel. viento	ventoso	poco viento
Luz solar	soleado (sin nubes)	nublado (sin sol)

No obstante, en la vida real rara vez se dan las condiciones óptimas y existen otros muchos factores que también influyen en las tasas de evapotranspiración. Factores tales como salinidad del suelo, baja fertilidad de la tierra, uso limitado de fertilizantes y productos químicos, falta de control de plagas y enfermedades, gestión deficiente del suelo y disponibilidad limitada de agua en la zona radicular pueden limitar el desarrollo del cultivo y reducir la evapotranspiración.

Otros factores que afectan a la evapotranspiración son la cubierta del suelo y la densidad de plantas. Por lo demás, las prácticas de cultivo y el tipo de sistema de riego pueden alterar el microclima, influir en las características del cultivo y afectar a la humedad del suelo y la superficie de las plantas.

NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO

Por necesidades de agua de riego se entiende el agua que debe suministrar el sistema de riego para garantizar que el cultivo reciba la cantidad íntegra de agua que necesita. Si el riego constituye la única fuente de suministro de agua para la planta, las necesidades de riego siempre van a ser mayores que las necesidades de agua del cultivo, para cubrir las deficiencias en el sistema de riego. Si el cultivo recibe parte de su agua de otras fuentes (lluvia, agua almacenada en el suelo, filtraciones

subterráneas, etc.), entonces las necesidades de riego pueden ser considerablemente más bajas que las necesidades de agua del cultivo.

En climas húmedos, las precipitaciones y la humedad del suelo pueden ser suficientes para asegurar un crecimiento satisfactorio en el contexto de la agricultura de secano. Sin embargo, en climas áridos o durante estaciones secas prolongadas es necesario el riego para compensar el déficit producido por la evapotranspiración (transpiración del cultivo y evaporación del suelo), debido a precipitaciones insuficientes o erráticas.

A fin de comprender qué cantidad de agua de riego se requiere, es necesario realizar un análisis del balance hídrico. Este tipo de análisis engloba tres niveles.

El primer nivel corresponde al balance de la demanda agrícola y otras demandas dentro de una cuenca hidrográfica. Esto ayuda a determinar el rendimiento seguro del agua procedente de varias fuentes y, en consecuencia, qué volumen de riego es posible dentro de márgenes sostenibles (véase el módulo **SALVAGUARDA EL AGUA**).

Otra perspectiva del balance hídrico es la relativa al nivel de explotación (o área de influencia). Con frecuencia, los campos no se riegan individualmente, sino que comparten el agua proporcionada a través de un canal o pozo. También suelen compartir canales de drenaje. El balance hídrico en la explotación tiene en cuenta el acceso al agua, los usos prioritarios, y los horarios y duración del riego. Todo ello constituye la base de la eficiencia en el diseño del sistema y la prestación de servicios.

La tercera perspectiva contempla las necesidades de aguas de los cultivos en un campo. Regar un cultivo en el momento adecuado y con la cantidad apropiada requiere experiencia y depende del clima, las precipitaciones, el suelo y la fase del

cultivo, así como del sistema de riego para el campo y de la tecnología de riego utilizados.

Existen programas de riego computarizado especiales, como por ejemplo el programa CROPWAT de la FAO, que pueden usarse para aconsejar a los agricultores y agricultoras sobre programas de riego y suministro de agua para las condiciones climáticas, cultivo, suelo y método de riego correspondientes.

PROGRAMA DE RIEGO

Una vez que se ha calculado el agua para los cultivos y las necesidades de riego, el siguiente paso consiste en preparar programas de riego para el campo. A la hora de preparar un programa de riego, hay que tener en cuenta tres parámetros:

- Las necesidades diarias de agua de los cultivos;
- el suelo, en particular la humedad total disponible o su capacidad de retención de agua;
- la profundidad efectiva de la zona radicular.

La reacción de la planta al riego se ve influenciada por las condiciones físicas, la fertilidad y el estatus biológico del suelo. Condición del suelo, textura, estructura, profundidad, materia orgánica, densidad aparente, salinidad, sodicidad, acidez, drenaje, topografía, fertilidad y características químicas: todo ello afecta a la medida en que el sistema de raíces de una planta penetra en el suelo y usa la humedad y los nutrientes presentes en el mismo. Muchos de estos factores influyen en el movimiento del agua en el suelo, la capacidad de retención de agua del suelo y la capacidad de las plantas para usar el agua. El sistema de riego utilizado debería poder funcionar o bien en todas estas condiciones o bien en la mayoría de ellas.

En el campo, el valor real puede variar entre un lugar y otro, una temporada y otra e incluso durante una misma temporada. Durante la temporada varía en función del tipo de explotación y equipo de labranza,

número de operaciones de labranza, gestión de residuos, tipo de cultivo y calidad del agua.

Asimismo, los suelos que deben regarse deben contar con un drenaje superficial y subterráneo adecuados, especialmente en el caso de riego de superficie. El drenaje interno dentro de la zona radicular del cultivo puede o bien ser natural o bien ser el producto de un sistema de drenaje subterráneo instalado.

¿QUÉ CULTIVOS SON LOS MÁS INDICADOS PARA EL RIEGO SOLAR?

No hay ningún cultivo que resulte especialmente indicado (o no indicado) para el riego con energía solar, siempre que el método de riego pueda satisfacer las necesidades de agua de los cultivos y sea compatible con las prácticas agrícolas, el clima, los recursos hídricos y otros aspectos agronómicos.

El patrón de cultivo debería ser de tal modo que el cultivo seleccionado pueda crecer satisfactoriamente en las condiciones climáticas y de suelo prevalentes, y el sistema de riego debería ser compatible con los cultivos y las prácticas agrícolas. Además, debería prestarse especial atención a la selección y el calendario de cultivos. Los cultivos deberían poder comercializarse a precios asequibles.

SELECCIÓN DE CULTIVOS ADECUADOS PARA EL RIEGO

Entre los aspectos agronómicos a considerar se incluyen los siguientes:

- Calendario de los actuales cultivos habituales en la zona durante las estaciones húmedas y secas, indicación de peligros de temporada (sequía, inundaciones, plagas y enfermedades);
- nuevos cultivos con buen potencial de ser introducidos en condiciones de riego;

- cultivos para autosuficiencia y seguridad alimentaria (a nivel de hogares/nacional);
- cultivos destinados al mercado;
- experiencia, motivación y prioridades de los agricultores y agricultoras con respecto a la selección de los cultivos.

Es preferible el uso de cultivos o variedades con mayor resiliencia frente a las sequías. Así se puede también ayudar a los agricultores y agricultoras a adaptarse a los cambios en las temperaturas y patrones de lluvias. Una mayor diversificación agrícola, incluida una mayor integración de árboles, cultivos, peces y ganado, puede reducir el riesgo y aumentar la resiliencia de los sistemas agrarios.

Algunos cultivos son sensibles a la forma en que se les aplica el agua. Los sistemas mediante los que se humecta todo el cultivo, como el riego por aspersión, pueden tener consecuencias no deseadas, como quemaduras en las hojas, manchas y deformaciones en la fruta, podredumbre cuello, etc. Estas consideraciones pueden influir en la elección del método de riego (Savva y Frenken 2004).

Como norma general, la mayoría de los cultivos hortícolas (y otros en línea) tiene una profundidad radicular efectiva baja, por lo que se desarrolla mejor con niveles bajos de agotamiento de la humedad. Por lo tanto, estos cultivos resultan indicados para el riego localizado por goteo, utilizado frecuentemente en sistemas de riego solar.

Es importante señalar que el fitomejoramiento y la biotecnología pueden ayudar mediante el aumento de las partes cosechables de la biomasa, la reducción de las pérdidas de biomasa gracias a una mayor resistencia a las plagas y enfermedades, la disminución de la evaporación del suelo gracias a un crecimiento vigoroso precoz para cubrir rápidamente el suelo, y una menor susceptibilidad frente a la sequía (FAO 2012).

A la hora de seleccionar cultivos adecuados, los agricultores y agricultoras

deben asegurarse de que tienen acceso a los insumos agrícolas, como son semillas de calidad, fertilizantes, pesticidas y herramientas, así como a créditos para poder adquirir los insumos necesarios.

PRÁCTICAS E INSUMOS AGRÍCOLAS ADECUADOS

- Prácticas agrícolas actuales de cultivos habituales en términos de insumos, mano de obra y herramientas;
- prácticas agrícolas nuevas o mejoradas que deben introducirse para garantizar niveles de producción óptimos en los cultivos de regadío;
- evaluación de los insumos necesarios requeridos para la producción óptima en términos de calidad de las semillas, fertilizantes orgánicos e inorgánicos, herramientas, disponibilidad de los insumos y acceso a crédito.

RESULTADO / PRODUCTO

- Comprensión acerca de qué afecta a las necesidades de agua de los cultivos;
- diferenciación entre necesidades de agua de los cultivos y necesidades de agua de riego;
- incorporación de las diferentes perspectivas de necesidades de agua en el programa de riego;
- incorporación de los parámetros necesarios en el programa de riego y el diseño del drenaje.

DATOS REQUERIDOS

- Rotaciones de cultivos planeadas;
- plan de plantación y cosecha;
- necesidades de consumo de otros usuarios y usuarias del agua en la cuenca;

- escenarios regionales de clima futuro.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Asesores y asesoras de SPIS;
- agricultores y agricultoras;
- gestores y gestoras del riego, grupos de usuarios y usuarias del agua u organización de agricultores y agricultoras.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Las necesidades de agua de los cultivos y las necesidades de agua de riego deben ser capaces de responder a escenarios de clima futuros.
- Los sistemas de riego exigen planificación a múltiples escalas, desde la cuenca, hasta el cultivo individual, pasando por la explotación.
- La salud del suelo y el tipo de suelo son clave para calcular las necesidades de agua.
- Las restricciones en la disponibilidad estacional del agua deberían influir en la elección del cultivo, alcanzando un equilibrio entre las necesidades de agua del cultivo, las necesidades de otros usuarios y usuarias y la disponibilidad del agua.
- El drenaje del suelo debería ser un tema prioritario a considerar.
- En la elección de los cultivos también se debería tener en cuenta la disponibilidad de otros insumos, tales como mano de obra, fertilizantes, herramientas, herbicidas, etc.

5. SELECCIONAR EL MÉTODO DE RIEGO PARA EL CAMPO

La mayor parte del área total regada cuenta con el equipamiento necesario para un riego completamente controlado. Los métodos de riego controlado se diferencian en la forma en que se distribuye el agua (AQUASTAT).

Una vez que se conocen las necesidades de agua, los recursos hídricos y los impactos de la implementación de un SPIS, se pueden seleccionar los métodos de riego adecuados.

¿QUÉ MÉTODOS DE RIEGO EXISTEN?

El **riego de superficie** utiliza la gravedad para desplazar el agua por la tierra. Esta categoría puede subdividirse en canales pequeños (surcos), franjas de tierra (crestas) y riego por compartimientos (incluido el riego por sumersión del arroz).

El uso del riego de superficie está muy extendido y, por lo tanto, se trata de un sistema bien conocido que puede ponerse en práctica sin aplicaciones de alta tecnología. En general, para este método de riego se requiere más mano de obra que para otros. En el diseño de un sistema de riego de superficie deben tenerse en cuenta el tipo de suelo (textura y velocidad de infiltración), la pendiente y el nivelado del campo, así como el tamaño y el recorrido del chorro. En general, es más difícil obtener una alta uniformidad en la distribución del agua en campos alargados con suelos de textura gruesa (gravilla y arena) que en los que tienen suelos de textura fina (de arcillosos a limosos). Nivelar el campo y construir acequias y reservorios puede resultar caro, pero una vez se han hecho, los costos son bajos y el agricultor o agricultora tiene una mayor capacidad de respuesta ante los cambios en las necesidades de riego.

El **riego por aspersión** consiste en una red de tuberías a través de las cuales se transporta el agua bajo presión antes de ser aplicada al cultivo mediante boquillas de aspersión. El sistema básicamente simula la lluvia, de manera que el agua se aplica mediante rociado desde una posición elevada.

Generalmente se utiliza una bomba centrífuga, que extrae el agua de la fuente y genera la presión adecuada para hacer fluir el agua por el sistema de tuberías. Los tubos de la línea principal y de la línea secundaria transportan el agua desde la bomba hasta los tubos laterales. Entonces, los tubos laterales llevan el agua hasta los aspersores. Si bien puede tratarse de una instalación permanente, lo más frecuente es que sean tubos portátiles y que estén confeccionados en materiales ligeros (p. ej., aluminio) fáciles de transportar.

Los aspersores rotativos funcionan mediante rotación de chorros de agua sobre la superficie a regar. Este sistema incluye aspersores de impacto y de mecanismo impulsado por engranajes, que producen chorros de agua, y boquillas rociadoras, que descargan el agua siguiendo unos patrones específicos.

Dados los elevados costos de inversión de capital, los sistemas más complejos (p. ej. pivotes centrales, sistemas de aspersión lateral sobre ruedas, etc.) se suelen usar en cultivos de alto valor, como las verduras. La operación de estos sistemas exige un nivel mayor de conocimientos técnicos, incluso aunque en general se necesite menos mano de obra debido al alto nivel de automatización. Los motores, tubos y otros componentes mecánicos requieren un mantenimiento sistemático para evitar que se deterioren y, por ende, los

elevados costos de reparación o sustitución que ello conlleva.

El riego por aspersión resulta indicado para la mayoría de los cultivos en línea, campos y árboles, y el agua se puede rociar por encima o por debajo de la cubierta del cultivo. Sin embargo, no se recomiendan aspersores de grandes dimensiones para cultivos delicados, como la lechuga, ya que las grandes gotas de agua que producen estos aspersores pueden dañar el cultivo.

El **riego localizado** consiste en “agua que se distribuye a baja presión a través de una red de tuberías, siguiendo un patrón predeterminado, y aplicada en forma de pequeña descarga en cada planta o al lado de esta” (AQUASTAT 2016).

Por lo general, un sistema de **riego por goteo** consta de una unidad de bomba, un cabezal de control, tubos principales y secundarios, tubos laterales y emisores o goteros. También pueden formar parte del mismo tanque de almacenamiento, filtros y dispositivos de fertirrigación.

Mediante el riego por goteo se aplica agua con más frecuencia que con otros métodos (normalmente entre 1 y 3 veces al día), proporcionando un nivel alto y favorable de humedad en el suelo. Mientras que la tasa de aplicación de agua esté por debajo de la capacidad de infiltración del suelo, no se produce saturación del suelo ni tampoco hay agua sobrante sobre la superficie ni fluyendo por ella. Esto permite un uso muy eficiente de los recursos hídricos y las pérdidas de agua se reducen al mínimo.

Aparte de ello, se pueden utilizar fertilizantes y nutrientes de forma altamente eficiente, ya que el agua se aplica localmente y se reduce la lixiviación. También se reduce el crecimiento de malas hierbas, pues los

nutrientes solamente se suministran a la planta cultivada.

No obstante, el riego por goteo implica costos de inversión inicial elevados, así como un alto nivel de conocimientos técnicos e inversiones regulares para la sustitución del equipamiento, que es susceptible de obstruirse y presentar un funcionamiento defectuoso, especialmente cuando la calidad del agua no es óptima. Asimismo, existe el riesgo de aumentar la salinidad del suelo.

El método resulta adecuado para la mayoría de los suelos. En los suelos arcillosos, el agua debe aplicarse lentamente para evitar que el agua superficial se encharque y provoque escorrentía. En los suelos arenosos, será necesario aumentar la tasa de descarga de los emisores para garantizar una humectación lateral adecuada del suelo.

El riego por goteo es el más adecuado para cultivos en línea, tales como los cultivos de verduras y frutas, arbóreos y de vid. Debido a sus altos costos de inversión, el riego por goteo tiende a ser utilizado para cultivos de alto valor.

Entre otros tipos de riego se cuentan:

Riego en **tierras bajas**, tales como (i) humedales cultivados y fondos de valles de interior que han sido equipados con estructuras de control del agua para riego y drenaje; (ii) áreas a lo largo de ríos en las que para el cultivo se utilizan estructuras construidas con el fin de retener el agua de inundaciones cuando esta se retira; (iii) manglares desarrollados y áreas de deltas equipadas.

El **riego por crecidas**, que utiliza las crecidas o arroyos efímeros y los canaliza hacia el lugar del cultivo mediante canales cortos y muy inclinados. Los diques suelen estar

construidos dentro de los arroyos con el fin de que puedan almacenar el agua cuando llegue.

¿QUÉ MÉTODO DE RIEGO ES EL MÁS INDICADO PARA LOS SISTEMAS CON ENERGÍA SOLAR?

Los sistemas fotovoltaicos de bombeo de agua han experimentado avances significativos en la última década. Las limitaciones en el diseño de motobombas solares de la década de los años 1970 se han superado y las motobombas solares son ahora mucho más eficientes y fiables.

Actualmente, son compatibles con tecnologías de riego por goteo, por aspersión, por pivote o por inundación. Los sistemas abarcan desde configuraciones sofisticadas controladas por ordenador, con elevados costos iniciales, hasta sistemas de costos moderados, entre los que se incluyen burbujeadores, miniaspersores y riego por goteo.

En general, el tamaño (y el costo) del sistema de bombeo solar viene determinado por las necesidades de agua y presión del sistema de riego. Los métodos que funcionan con presiones de trabajo comparativamente bajas suelen ser la opción preferida en combinación con motobombas fotovoltaicas.

El riego por aspersión requiere una presión del agua relativamente alta para su funcionamiento, lo que exige un SPIS con un diseño adecuado. En contrapartida, el riego por goteo requiere baja presión y tiene potencial para aplicar el agua más eficientemente.

El riego por goteo —también llamado microrriego, riego localizado o riego gota a gota— se sirve de redes de tuberías y tubos para aplicar agua directamente a la superficie del suelo o la zona radicular de las plantas. Tiene el potencial de reducir el consumo de agua del llamado “cultivo

por gota”, minimizando las pérdidas por evaporación no productivas (p. ej. Narayanamoorthy, 2004; Rijsberman, 2006). Otra ventaja radica en que permite usar agua moderadamente salina para el riego. Las parcelas marginales de las tierras pueden utilizarse de forma productiva, ya que las técnicas de riego por goteo pueden aportar el agua y los nutrientes necesarios directamente a las plantas.

El riego por goteo es ideal para la producción de cultivos de alto valor, tales como verduras y frutas, cultivos arbóreos y vid, y gracias a su alto grado de eficiencia es posible hacer un cálculo bastante conservador del tamaño de la bomba solar.

Con todo, el riego por goteo implica un costo de capital inicial elevado y exige agua de calidad suficientemente buena (para evitar que se obstruyan los emisores) o un sistema de pretratamiento. Además, se necesita una buena gestión del riego para que el sistema funcione eficazmente, así como fertirrigación y mantenimiento del equipo.

Aptitud de los métodos de riego para bombas solares, adaptado de “Manual and Tools for promoting SPIS – Stocktaking and Analysis Report” (2015)

Método de riego	Eficiencia típica de la aplicación	Aptitud para su utilización con bomba solar
Inundación	40-50 %	Depende de las condiciones locales
Canales abiertos	50-60 %	Depende de las condiciones locales
Aspersor	70-80 %	sí
Goteo	85-95 %	sí

Aparte de estas consideraciones técnicas, hay otros factores que determinan la aptitud de los métodos de riego independientemente de la fuente de energía de las bombas. Entre ellos se incluyen condiciones naturales tales como:

- *El tipo de suelo*, que determina la capacidad de almacenamiento de agua y la tasa de infiltración;
- *la pendiente de la tierra*, que influye en el drenaje de agua y determina si es necesario o no nivelar la tierra;
- *el clima*, incluido el viento (p. ej. puede alterar el rociado de los aspersores), la radiación solar y los patrones de precipitación, así como la temperatura;
- *la disponibilidad de agua*, véase la sección 2;

- *la calidad del agua*, véase la sección 2;
- *los requisitos de resiliencia*, véase la sección 2.

También es importante considerar el tipo de cultivo tanto desde un punto de vista económico como desde un punto de vista agronómico. Debido a los mayores costos de inversión de capital por hectárea, el riego por aspersores y goteo se usa generalmente para cultivos de alto valor, como verduras, árboles frutales y especias. El riego por goteo es más adecuado para plantas individuales y cultivos arbóreos o en línea.

También hay que considerar otros aspectos socioeconómicos a la hora de seleccionar el método de riego. Por ejemplo, la mano de obra es uno de esos factores. La construcción, la operación y el mantenimiento del riego de superficie suele requerir más mano de obra que el riego por aspersión o goteo. Para el riego de superficie se requiere una nivelación precisa del suelo, mantenimiento regular y un alto nivel de organización por parte de los agricultores y agricultoras para operar el sistema. Otro aspecto por considerar son las complicaciones imprevistas que pueden surgir cuando se introducen nuevos métodos de riego. Conseguir que los agricultores y agricultoras cambien sus prácticas y utilicen el equipamiento puede suponer todo un reto.

A la hora de seleccionar un método de riego deben sopesarse estos aspectos y realizarse análisis de costo-beneficio de las opciones disponibles. Los costos abarcan la inversión de capital, la construcción e instalación, así como la operación y el mantenimiento, incluida la energía. Estos costos deberían compararse con los beneficios esperados, incluidos rendimientos, precios de mercado, costos operativos evitados y ahorros en mano de obra. Este análisis de costo-beneficio se

explica con mayor grado de detalle en el módulo de la caja de herramientas de SPIS **INVIERTE**.

RESULTADO / PRODUCTO

- Comprensión de los diferentes métodos de riego y sus respectivas ventajas y desventajas;
- capacidad de tener en cuenta las condiciones naturales que afectan al riego en la elección del método de riego;
- aplicación adecuada del análisis de costo-beneficio;
- comprensión del conflicto de objetivos que implican los diferentes métodos de riego por lo que se refiere a los costos de capital y los costos operativos, la eficiencia hídrica y el aumento de la producción y los ingresos agrícolas.

DATOS REQUERIDOS

- Presión del agua;
- disponibilidad estacional del agua (agua asignada asegurando una extracción sostenible);
- calidad del agua;
- tipo de suelo;

- pendiente de la tierra;
- costos de capital, operación y mantenimiento;
- eficiencia fotovoltaica y potencia disponible;
- necesidades de potencia y presión de los diferentes métodos de riego.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Responsables políticos;
- asesores y asesoras/planificadores y planificadoras en materia de riego;
- gestores y gestoras del riego, grupos de usuarios y usuarias del agua u organización de agricultores y agricultoras;
- agricultores y agricultoras.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Existen diferentes métodos de riego que aportan diferentes ventajas e inconvenientes.
- La decisión última sobre qué método de riego utilizar debería buscar el equilibrio entre los costos/beneficios financieros y ambientales a lo largo de la vida útil del activo.

6. PLANIFICAR LAS ESTRUCTURAS DE ENTRADA, CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA

El principal reto de ingeniería de cualquier sistema de riego consiste en extraer agua de una fuente, suministrarla a la tierra a su debido tiempo y en la cantidad necesaria, distribuirla entre las diferentes explotaciones y los distintos campos de rotación de cultivos, y proporcionar la humedad del suelo requerida para las plantas que hay en los campos. Todo ello precisa energía para transportar el agua, mantener la presión y asegurar la calidad.

El funcionamiento del sistema debería ofrecer flexibilidad suficiente para suministrar agua al cultivo en cantidades y con programas variables que permitan al agricultor o la agricultora cierto margen de maniobra para gestionar la humedad del suelo con vistas a obtener los máximos rendimientos, así como el agua, la mano de obra y la conservación de energía.

El agua puede suministrarse de forma continua o rotatoria, con un ajuste relativamente fijo de la tasa y la duración del flujo. En esos casos, la flexibilidad a la hora de programar el riego está limitada a lo acordado mutuamente por cada agricultor o agricultora o grupo de agricultores y agricultoras dentro de sus áreas de influencia. En la fase de diseño preliminar, deberían evaluarse los límites del suministro de agua en cuanto a la consecución de un programa de riego óptimo (véase la sección 1).

ESTRUCTURA DE ENTRADA

La entrada de agua está vinculada a la extracción de una fuente de riego y el suministro a una red de riego. Puede funcionar por gravedad y por elevación de agua.

Las motobombas de energía solar pueden utilizarse para extraer tanto aguas superficiales como subterráneas. Hay dos

tipos básicos de bombas: bombas centrífugas y bombas de desplazamiento positivo. Ambas pueden utilizarse para un SPIS.

Para poder satisfacer la demanda pico es necesario un sobredimensionamiento de las bombas de agua, lo que significa que tienden a ser infrutilizadas fuera de la temporada. Hasta cierto punto, esta variabilidad estacional en la demanda de agua se puede equilibrar mediante la adaptación de las rotaciones de cultivos (incluidos cultivos permanentes) y la gestión del riego.

El rendimiento de las bombas solares depende de las necesidades de agua de los cultivos, la capacidad de almacenamiento de agua, la altura de bombeo (m) en la que se debe elevar el agua, el volumen de agua que debe bombearse (m^3), la energía virtual del sistema fotovoltaico (kWh), la energía de la bomba (kWh), la energía fotovoltaica no utilizada (kWh), la eficiencia de bombeo (%), la eficiencia del sistema (%), y la variación diurna de la presión de bombeo por modificación de la irradiancia y compensación de la presión. Todos estos factores tienen que tenerse en cuenta en el diseño del SPIS, por lo que, a fin de obtener resultados óptimos, debería confiarse esta labor a un experto.

Las fluctuaciones en la irradiancia solar, la acumulación de polvo en los módulos fotovoltaicos y las altas temperaturas afectan al rendimiento de los sistemas fotovoltaicos y, en consecuencia, a la bomba. Así pues, para fines de mantenimiento debería poder accederse fácilmente a los módulos fotovoltaicos.

La herramienta **DISEÑA – Herramienta de cálculo del bombeo** puede resultar útil para asegurar que el sistema de bombeo está diseñado conforme al fin previsto y

para evitar pérdidas de presión innecesarias.

CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN

Una vez que el agua entra, debe suministrarse mediante los *sistemas de conducción y distribución*. Los sistemas habituales de conducción y distribución son presas de derivación, canales y acequias revestidos o parcialmente revestidos, conductos, bocas de riego y otros medios.

Cabe distinguir entre provisión de agua para tierras de una sola explotación (sistema de riego para una explotación) o varias (sistema de riego entre explotaciones), asociaciones de explotaciones y empresas agrícolas, e incluso varios centros administrativos.

Un sistema de conducción y distribución mal planificado puede conllevar pérdidas de agua, baja eficiencia de riego y que se rieguen áreas mucho más pequeñas de lo previsto.

Existe a disposición software de diseño para la planificación del sistema de riego. Por ejemplo, GESTAR es un software desarrollado por el Departamento de Ciencia y Tecnología de Materiales y Fluidos, Área de Mecánica de Fluidos, de la Universidad de Zaragoza y puede utilizarse para sistemas de riego de entre media y gran escala. Las herramientas y métodos de GESTAR han sido diseñados específicamente para el riego presurizado (como el riego por aspersión y por goteo). También existen herramientas de planificación específicas de un método de riego.

¿CUÁLES SON LAS IMPLICACIONES DEL RIEGO CON ENERGÍA SOLAR EN RELACIÓN CON LA ENERGÍA?

El SPIS puede proporcionar una fuente de energía fiable y asequible en áreas rurales, permitiendo una disminución potencial de

los costos energéticos del riego y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a los sistemas de bombeo con combustibles fósiles.

Los sistemas de riego utilizan energía para elevar agua de un pozo o reservorio, presurizar el agua para superar las pérdidas de fricción en los conductos, y distribuir agua uniformemente por el suelo. Por lo general, las bombas funcionan con diésel o energía eléctrica; en el último caso, a través de la red de suministro eléctrico o mediante fuentes de energía descentralizadas.

- **Eficiencia energética:** El grado de eficiencia con que los sistemas de riego usan el agua y la energía viene determinado, en primera instancia, por el tipo de sistema y el modo en que es operado, mantenido y gestionado. A la hora de especificar el tamaño de la bomba y diseñar los sistemas de distribución de agua, los ingenieros e ingenieras tienen en cuenta la distancia a la que debe ser elevada y transferida el agua, la profundidad desde la que hay que transportar el agua, y la fricción originada en las tuberías y canales, que viene determinada por la configuración, el diámetro y las presiones de trabajo. Asimismo, deberían tener en cuenta la resiliencia del sistema a escenarios climáticos futuros y cambios en los niveles de las aguas subterráneas que se pueden producir por la implementación generalizada de SPIS.

Los ahorros energéticos se pueden obtener gracias a un diseño eficiente (p. ej. configuración de tuberías), bombas del tamaño adecuado, y equipos optimizados (p. ej. mandos de regulación de la velocidad). Otro aspecto que cabe considerar es el conflicto de objetivos entre la eficiencia en la aplicación de agua y la eficiencia energética. Por ejemplo, hacer fluir agua por una red de riego por goteo

supone un gasto mayor de energía que dejarla correr por canales y surcos, pero el riego por goteo aplica el agua de forma más eficiente que un sistema de riego más eficiente en términos energéticos, como es el riego por pivote central.

- **Costos energéticos:** Los sistemas presurizados tienden a ser más eficientes, pero tienen un mayor consumo energético y, por tanto, implican mayores costos energéticos. Estos costos dependen de la fuente de energía, del precio de la energía por unidad y otros factores, tales como la profundidad del acuífero del cual se bombea el agua. Así pues, los costos energéticos potencialmente pueden revertir cualquier ahorro de costos previsto como resultado de invertir en mejorar la eficiencia de los sistemas de riego. Esto deja margen de maniobra para intervenciones a nivel técnico y de gestión para mejorar la eficiencia en el uso de agua y energía y reducir los costos operativos.

Los sistemas fotovoltaicos con energía solar pueden proporcionar una fuente de energía alternativa, económicamente viable, que no emite gases de efecto invernadero. También tienen la ventaja de no depender de la disponibilidad y los costos de combustibles fósiles.

Sin embargo, requieren ciertos conocimientos previos sobre cómo configurar y usar las bombas solares de forma óptima. A diferencia de las bombas accionadas por motor, el dimensionamiento de los sistemas de riego fotovoltaicos constituye una decisión estratégica fundamental para los agricultores y agricultoras, dados los mayores costos de inversión inicial y la complejidad que implica diseñar, operar y mantener el sistema. Normalmente, este trabajo corresponde a expertos y expertas técnicos. Es necesario capacitar a los

agricultores y agricultoras en el uso del sistema fotovoltaico para obtener los máximos beneficios.

Pese a que los costos han descendido significativamente en los últimos años, la viabilidad económica de los sistemas fotovoltaicos varía, especialmente en el caso de pequeños agricultores y agricultoras, para quienes una bomba solar supone una gran inversión. Por lo tanto, es necesario evaluar la viabilidad económica de este tipo de inversiones para determinar si la introducción de bombas fotovoltaicas es económicamente viable.

La herramienta **INVIERTE – Herramienta de cálculo de amortización** puede ser de utilidad para evaluar los costos de los sistemas solares en comparación con otros tipos de sistemas energéticos para el riego.

RESULTADO / PRODUCTO

- Comprensión de los diferentes aspectos de un sistema de riego;
- visión de conjunto de cómo determinar el tamaño de bombas y otras partes de un SPIS;
- identificación de los ahorros de costos a largo plazo que reporta la instalación de un SPIS;
- comprensión de la necesidad de diseñar atendiendo a la resiliencia y adaptabilidad al sistema.

DATOS REQUERIDOS

- Volumen y presión de agua necesarios;
- tamaño de la bomba, costos de la bomba, necesidades de energía eléctrica;
- requisitos en cuanto al tamaño del sistema fotovoltaico y costo;
- estructuras y sistemas auxiliares, tamaños y costos.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Planificadores y planificadoras de sistemas de riego;
- gestores y gestoras del riego, grupos de usuarios y usuarias del agua u organización de agricultores y agricultoras;
- agricultores y agricultoras;
- financistas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Debería llevarse a cabo un análisis minucioso de costo-beneficio a lo largo del ciclo de vida.
- Deberían integrarse en el sistema la resiliencia y la adaptabilidad mediante medidas de diseño.
- Un sistema con un diseño deficiente puede causar daños en el entorno y a otros usuarios y usuarias de la cuenca hidrográfica.
- Se requieren conocimientos técnicos especializados para determinar el tamaño, instalar y mantener este tipo de sistemas.

7. CONSEJOS PARA UN RIEGO EFICIENTE

El agua de riego es un recurso muy valioso, no solo de manera directa para la producción agrícola, sino también indirectamente para el ecosistema en su conjunto. Por consiguiente, es esencial el uso inteligente y la conservación del agua de riego. Una serie de mejores prácticas y consejos puede ayudar a reducir el consumo general de agua, mejorar el crecimiento de las plantas y a obtener mayores rendimientos.

MAPA DEL SISTEMA DE RIEGO

Estudie la disposición de la tierra y marque el emplazamiento óptimo de las tuberías de riego, prestando atención a reducir el número de accesorios utilizados (predisposición a fugas). Tenga presente que las pendientes podrían provocar una distribución dispar del agua, lo que podría derivar en escorrentía. Por lo tanto, es recomendable nivelar el terreno y construir terrazas si se usa el riego por inundación o por aspersión (las líneas de goteo deberían discurrir en horizontal con respecto a la pendiente). El riego por aspersión dispersa el agua en un radio alrededor de la boquilla central. Determine el radio y coloque los aspersores de tal forma que se reduzcan al mínimo los solapamientos, a la vez que se garantiza que se cubre la máxima área posible (es decir, que haya pocas áreas que queden secas).

PRESERVAR LOS ÁRBOLES

Preferentemente, los árboles grandes deberían permanecer en el área de cultivo. No solamente proporcionan sombra que se desplaza, sino que determinadas especies (p. ej. acacias) albergan bacterias que fijan el nitrógeno, lo que mejora la fertilidad del suelo.

ENFOQUE AGROECOLÓGICO

Los [diez elementos de la agroecología](#) establecidos por la FAO ponen de relieve aspectos relacionados con los recursos, el

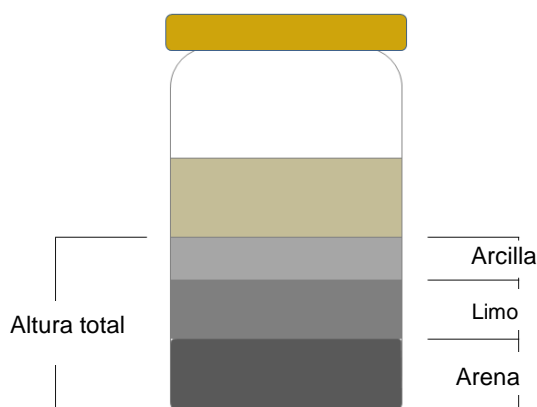
uso, la reutilización, la gobernanza y los derechos en torno al agua. Además, constituyen un medio para poner la vista sobre los impactos en la comunidad y el sistema alimentario en su conjunto, más allá de la intervención a nivel de explotación.

La herramienta **PROMUEVE – Herramienta de evaluación de impacto** incorpora, en cierta medida, estos elementos.

ANÁLISIS DEL SUELO

La humedad del suelo de la que disponen las raíces de las plantas depende del tipo de suelo. El tipo de suelo se puede determinar en el laboratorio analizando el tamaño de las partículas. Las partículas de arena, limo y arcilla tienen diferentes diámetros; cuando se pasan por un tamiz, su distribución proporciona información sobre el tipo de suelo. Otra forma de determinar el tipo de suelo es la llamada “prueba del tarro”:

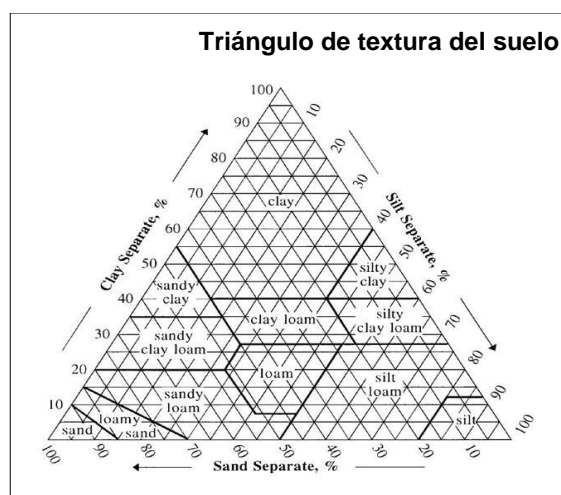
1. Recoja una muestra de suelo de la zona a regar.
2. Introduzca la muestra de suelo en el tarro (a la mitad) y rellene con agua (hasta dos terceras partes).
3. Agite el tarro y déjelo reposar durante dos horas; las partículas se irán sedimentando en el fondo en diferentes capas.
4. Mida la altura total del conjunto de todas las capas y luego la altura de cada una de las capas por separado.
5. Divida la altura de cada capa por la altura total; de este modo obtendrá el porcentaje de arcilla, limo y arena.



Capas de sedimentación en la prueba de suelo en el vaso de precipitados

(Fuente: K. Blumenthal)

Si se introducen los porcentajes obtenidos de arcilla, limo y arena en el triángulo de textura del suelo que se incluye a continuación, el triángulo indica el tipo de suelo presente.



Triángulo de textura del suelo

(Fuente: Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos)

La herramienta **RIEGA– Herramienta de suelos** describe las diferentes propiedades de los tipos de suelo y permite establecer un programa de riego basado en el suelo para diferentes cultivos.

PROGRAMA DE RIEGO

Mediante un programa de riego basado en mediciones de suelo-planta o atmosféricas se puede disminuir el uso de agua y, a la vez, mejorar los rendimientos. Los programas de software pueden recopilar datos meteorológicos, incluidos de temperatura local, precipitaciones, humedad y evapotranspiración de los cultivos, y brindar recomendaciones para elaborar un programa de riego óptimo (véase el [Estudio FAO Riego y Drenaje 56](#)). La herramienta **RIEGA – Herramienta de suelos** permite establecer un programa de riego basado en el suelo para diferentes cultivos.

MANTILLO

Cubrir el suelo con mantillo (acolchado, *mulching*) es una técnica eficaz para reducir la evaporación de la humedad del suelo, aislar frente al frío y mejorar gradualmente la composición orgánica de los suelos. Ayuda a prevenir la compactación del suelo, actúa como acondicionador del suelo, y fomenta la presencia de aireadores naturales, como las lombrices de tierra. Asimismo, añade nutrientes, al contribuir a que haya disponibilidad de potasio, y puede aportar nitrógeno, fósforo y oligoelementos al suelo. Además, es una forma ideal de reciclar los residuos de los cultivos.

El mantillo comprende la superposición de materiales orgánicos (paja, corteza, hojarasca, paja de maíz) o inorgánicos (láminas de PVC) sobre el área de cultivo, a través de los cuales pueden crecer los cultivos. La cobertura que proporciona el mantillo también se puede obtener intercalando cultivos, por ejemplo, poniendo plantas rastreras (melón, calabaza) entre las hileras de maíz. Entre las consideraciones importantes para tener en cuenta en relación con el mantillo se incluyen:

- Una vez que ha empezado a cubrir con mantillo, no lo deje. Eliminar el mantillo

secará el suelo y puede producir daños en las raíces que están debajo del mismo.

- Aplicar mantillo cubriendo parte del tronco de un árbol puede provocar problemas de podredumbre en la corteza, enfermedades y plagas de insectos. Por ese motivo, se deben dejar varios centímetros entre la base del árbol y la capa de mantillo.
- Evite la aplicación excesiva de mantillo. La aplicación de mantillo en capas demasiado gruesas puede provocar que las raíces crezcan de forma poco profunda y que sean más propensas a secarse durante períodos de sequía prolongados. Como norma general, la capa de mantillo no debería exceder los 5 cm.
- Use mantillos leñosos o de corteza en áreas donde es necesario cavar poco, p. ej., alrededor de árboles y en macizos de flores. Los materiales de mantillo más ligeros, que se pueden incorporar fácilmente al suelo, resultan más adecuados para cultivos estacionales y huertos en los que se produce una replantación de forma regular.
- Antes de aplicar una nueva capa de mantillo, rastille bien removiendo la capa antigua. El mantillo, especialmente de materiales leñosos, puede compactarse con el tiempo, impidiendo así la aireación del suelo y la penetración de agua.

CULTIVO INTERCALADO

El cultivo intercalado consiste en una práctica de cultivos múltiples que implica cultivar dos o más especies en estrecha proximidad. El objetivo más común del cultivo intercalado es producir un mayor rendimiento en un terreno determinado aprovechando recursos o procesos ecológicos que, de otra forma, no se utilizarían con un cultivo único (*Ouma, George; Jeruto, P. (2010)*). Los elementos del cultivo intercalado (*Wikipedia*,

“Intercropping” (en inglés), consultado en enero de 2018) incluyen:

- **Partición de recursos:** Se requiere una planificación meticulosa, teniendo en cuenta el suelo, el clima, los cultivos y las variedades. Es particularmente importante que los cultivos no compitan entre sí por el espacio físico, los nutrientes, el agua o la luz del sol. Ejemplos de estrategias de cultivo intercalado son: plantar un cultivo de raíces profundas con un cultivo de raíces poco profundas, o plantar un cultivo alto con un cultivo más bajo que requiere sombra parcial.
- **Mutualismo:** Plantar dos cultivos en estrecha cercanía puede resultar especialmente beneficioso cuando las dos plantas interactúan de modo que se mejora el estado de una o de ambas plantas (y, por tanto, el rendimiento). Por ejemplo, a las plantas propensas a volcarse con el viento o con fuerte lluvia (plantas que tienden a caerse), se les puede brindar soporte estructural mediante un cultivo de acompañamiento. Las plantas trepadoras también pueden beneficiarse del soporte estructural. Algunas plantas se utilizan para eliminar las malas hierbas o proporcionar nutrientes. A las plantas delicadas o sensibles a la luz se les puede dar sombra o protección, o se puede utilizar el espacio que si no se desaprovecharía. Un ejemplo al respecto es el sistema tropical de múltiples niveles, en el cual el coco ocupa el nivel superior, el plátano el intermedio, y la piña, el jengibre, las leguminosas forrajeras, y las plantas medicinales o aromáticas, el nivel inferior. El cultivo intercalado de plantas compatibles puede asimismo fomentar la biodiversidad, al proporcionar un hábitat para una serie de insectos y organismos del suelo que no estarían presentes en un entorno de cultivo único. Estos organismos pueden aportar a los cultivos nutrientes valiosos, por

ejemplo, mediante la fijación de nitrógeno.

- **Gestión de plagas:** Son varias las formas en que el aumento de la diversidad de cultivos puede mejorar la gestión de plagas. Por ejemplo, este tipo de prácticas puede limitar los brotes de plagas en los cultivos aumentando la biodiversidad de los depredadores. Además, reducir la homogeneidad del cultivo tiene el potencial de aumentar las barreras contra la dispersión biológica de organismos causantes de plagas en todo el cultivo.

Existen varias formas de controlar las plagas mediante el cultivo intercalado:

- Los cultivos trampa consisten en plantar cerca un cultivo que sea más atractivo para las plagas que el cultivo de producción agrícola, entonces las plagas atacarán a ese cultivo y no al cultivo de producción.
- Los cultivos repelentes ejercen un efecto repelente sobre ciertas plagas. Enmascaran el olor del cultivo de producción agrícola con el fin de mantener alejadas a las plagas.
- El cultivo de repulsión-atracción es una combinación de cultivos trampa y de los cultivos intercalados repelentes. Un cultivo atrae a la plaga, y otro cultivo la repele.

Los funcionarios y funcionarias de extensión agrícola y los asesores y asesoras deberían poder brindar orientación sobre el cultivo intercalado y los cultivos de acompañamiento.

CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

Asegurarse de que el agua de lluvia no se escurra, sino que se filtra hacia capas más profundas del suelo, evita la erosión de las capas superficiales del suelo y puede mejorar la recarga de las aguas

subterráneas y la humedad del suelo en las capas profundas. Los surcos colocados estratégicamente pueden atrapar el agua de lluvia y desviarla hacia áreas de cultivo (o el pozo de bombeo), mientras que las canaletas de evacuación en el tejado que desembocan en tanques de almacenamiento de agua pueden crear reservas para la estación seca.

SEGUIMIENTO

Hacer un seguimiento regular del consumo de agua y de los niveles de humedad del suelo permite determinar mejor los recursos hídricos necesarios para garantizar la salud de los cultivos. Los caudalímetros y los medidores manuales de la humedad del suelo son dispositivos importantes, mediante los cuales se recaban datos y se registran para el análisis.

SURCOS MEJORADOS

Existen numerosas técnicas para optimizar el flujo de agua a través de surcos, como, por ejemplo, tapar los surcos con láminas de plástico PVC o lájas de piedra para reducir la evaporación; revestir o reafirmar los surcos principales para reducir la tasa de infiltración de agua en la parte elevada del terreno (entonces se dispone de agua adicional que puede descender por el surco, como resultado se obtiene un avance más rápido hacia la parte del terreno menos elevada y se mejora la distribución del agua); u optimizar los ángulos de las pendientes para garantizar un flujo de agua eficiente.

EVITAR LA EVAPORACIÓN

La evaporación desde los sistemas de almacenamiento y de conducción de agua no cubiertos supone una pérdida directa de recursos hídricos hacia la atmósfera. Esta pérdida tiene implicaciones financieras en los casos en que se incurre en costos para bombear el agua de un pozo o se adquiere de un proveedor de servicios. Para detener la evaporación es necesario restringir la

energía solar que incide sobre el agua (que incrementa el nivel energético de las moléculas de agua) y reducir su exposición al aire seco. Cuando el agua se evapora forma una capa húmeda de aire por encima de la superficie, reduciendo la capacidad del aire de absorber más moléculas de agua procedentes del líquido. Si se mueve el aire, se aleja el vapor de agua del área sobre la superficie del agua y se sustituye por aire más seco, aumentando la evaporación. Es recomendable usar tanques sellados o cubrir los tanques de almacenamiento y los canales abiertos. Para los reservorios o presas de riego de mayores dimensiones se pueden considerar cubiertas flotantes, junto con cortavientos (p. ej. setos y árboles) alrededor del perímetro. Estos últimos pueden también contribuir a sombrear la superficie del agua, reduciendo así la energía cinética disponible para las moléculas del agua.

HORARIOS DE RIEGO

En principio, es mejor regar durante las horas de la mañana, empezando justo antes del amanecer. El aire más frío y el viento de escasa velocidad reducen las pérdidas por evaporación, y se asegura a los cultivos un suministro adecuado de agua en la zona radicular como preparación para las temperaturas diurnas más elevadas. No se recomienda aplicar agua en las últimas horas de la tarde ni por la noche, ya que los cultivos no pueden absorber el agua disponible y el agua estancada propicia la propagación de plagas y hongos.

RESULTADO / PRODUCTO

- Comprensión de algunos enfoques prácticos para reducir la demanda de agua de riego.

DATOS REQUERIDOS

- Información sobre cultivo intercalado y cultivos de acompañamiento;
- propiedades del suelo en las áreas de cultivo.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Funcionarios y funcionarias de extensión agrícola y asesores y asesoras agrícolas;
- planificadores y planificadoras de riego y proveedores de servicios;
- especialistas en horticultura y permacultura.

ASUNTOS IMPORTANTES

- La eficiencia del riego solamente puede garantizarse haciendo un seguimiento activo y regular. Cualquier medida de mejora debería escrutarse a fondo antes de implementarse, y debería recopilarse información de referencia (p. ej. cantidad de agua consumida, cantidad de fertilizante añadido). Comparar la información de referencia con los nuevos datos obtenidos tras la medición permite evaluar el éxito o el fracaso de la mejora. Esto profundiza nuestro entendimiento.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS, ENLACES Y HERRAMIENTAS

Allen, R. 1998. "Evapotranspiración del cultivo".

Estudio FAO Riego y Drenaje

N.º 56. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

FAO. 2016. Sitio web de AQUASTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Sitio web consultado el 27/03/2018.

Berbel, J. & Mateos, L., 2014. "Does investment in irrigation technology necessarily generate rebound effects? A simulation analysis based on an agro-economic model", *Agricultural Systems*, Elsevier, Vol. 128, págs. 25-34.

FAO. 2016. Water accounting and auditing: A sourcebook. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO. 2016b. Exploring the Concept of Water Tenure. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

FAO. 2013. Multiple uses of water services in large irrigation systems. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

FAO. 2012. Directrices voluntarias sobre la gobernanza responsable de la tenencia de la tierra, la pesca y los bosques en el contexto de la seguridad alimentaria nacional. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

FAO. 2011. The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, y Londres, Earthscan.

FAO. 2007. Modernizing irrigation management – the MASSCOTE approach. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

FAO. 2006. Plant nutrition for food security: A guide for integrated nutrient management. Roma: Fertiliser and Plant Nutrition Bulletin N.º 16.

Faurès, J.-M., Svendsen, M. y Turrall, H. 2007. Re-inventing irrigation. En: D. Molden (editor). Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Earthscan, Londres, Reino Unido, e International Water.

Management Institute, Colombo, Sri Lanka. HR. Hudson. 2005. Sustainable Drainage Management. New Zealand Water Environment Research Foundation.
http://www.wet.org.nz/wp-content/uploads/2012/03/fieldguide_final.pdf.

Moriarty, P. et al. 2007. The EMPOWERS Approach to Water Governance: Guidelines, Methods and Tools.
http://waterwiki.net/images/d/d2/EMPOWERS_Guidelines%2C_Methods_and_Tools.pdf.

Narayanamoorthy, A. 2004. "Impact Assessment of Drip Irrigation in India: The Case of Sugarcane", Development Policy Review, Vol. 22, N.º 4, págs. 443-462.

Rijsberman, Frank. 2006. "Water Scarcity: Fact or Fiction?" Agricultural Water Management, Vol. 80, N.º 1-3, págs. 5-22.

Salinity Management Handbook 2011. Queensland Government, Australia.
<https://publications.qld.gov.au/storage/f/2013-12-19T04%3A10%3A23.754Z/salinity-management-handbook.pdf>.

Savv AP, Frenken K. 2002. Irrigation manual planning, development, monitoring and evaluation of irrigated agriculture with farmer participation. Vol. I, módulos 1-6.

Sustainable Agriculture Information Initiative. 2010. Technical Manual – Soil and Water Conservation. https://wocatpedia.net/images/1/18/Technical_Manual-Soil_and_Water_Conservation.pdf.

Sustainable Agriculture Information Initiative. 2010. Technical Manual – Conservation Agriculture. http://www.fao.org/ag/ca/CA-Publications/Technical_Manual_Conservation_Agriculture.pdf.

Walker, W.R. 2003. Surface irrigation simulation evaluation and design. Guide and technical documentation. Logan: Utah State University.
http://ocw.usu.edu/biological_and_irrigation_engineering/surface_irrigation_design/sirmod_iii_manual.pdf.

Contabilidad del agua: <http://wateraccounting.org/>.

WOCAT Global Database on Sustainable Land Management:
<https://qcat.wocat.net/en/wocat/>.

Herramientas de SPIS

PROMUEVE – Herramienta de evaluación de impacto

RIEGA – Herramienta de suelos

DISEÑA – Herramienta de cálculo del bombeo

También son relevantes las siguientes herramientas asociadas a otros módulos:

SALVAGUARDA EL AGUA – Herramienta de cálculo de necesidades de agua

INVIERTE – Herramienta de cálculo de amortización

INVIERTE – Herramienta de cálculo del balance económico

DISEÑA – Plantilla para la recogida de datos